ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

# Σχεδιασμός πανέλων δαπέδου από μεταλλικά στοιχεία συνδεδεμένα με ρητίνες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Ν. Κοκολάκης

Επιβλέπων: Ιωάννης Ραυτογιάννης

Αθήνα, Μάρτιος 2012

ΕΜΚ ΙΟ 2012/12

Κοκολάκης Γ. Ν. (2012).
Σχεδιασμός πανέλων δαπέδου από μεταλλικά στοιχεία συνδεδεμένα με ρητίνες
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΙΟ 2012/12
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Kokolakis G. N. (2012).
Floor panel design of metal-linked resins
Diploma Thesis EMK JU 2012/12
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

# Πίνακας περιεχομένων

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΙΟ 2012/12

# Σχεδιασμός πανέλων δαπέδου από μεταλλικά στοιχεία συνδεδεμένα με ρητίνες

Κοκολάκης Γ. Ν. (Επιβλέπων: Ραυτογιάννης Ι.)

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με το σχεδιασμό πανέλων δαπέδου από μεταλλικά στοιχεία που σαν κύριο χαρακτηριστικό έχουν το μικρό ίδιο βάρος, το χαμηλό κόστος και την σύντομη χρονική διάρκεια συναρμολόγησης. Επίσης, σαν μέσα συνδέσεως των στοιχείων επιλέχθηκε η χρήση κατάλληλων ρητινών.

Τα μεταλλικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το δάπεδο είναι τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα και μεταλλικά επίπεδα ελάσματα. Το δάπεδο τοποθετείται επάνω σε γαλβανισμένους τετραγωνικούς κοιλοδοκούς και σχεδιάζεται σαν αμφιέρειστη κατασκευή με διαστάσεις 5,40m επί 3,00m. Για την επιλογή της κατάλληλης γεωμετρίας του δαπέδου πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με πολλούς τύπους τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων (τύπος 40/896 , 50/1000 , 35/1100) αλλά και με τις χρήσεις του επίπεδου ελάσματος (εφαρμογή επάνω ή επάνω και κάτω από το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο δημιουργώντας το γνωστό «sandwich»). Επιπλέον, ελέγχθηκε και η περίπτωση δαπέδου δύο ανοιγμάτων. Τελικώς, για την παρούσα διπλωματική, χρησιμοποιήθηκε τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο τύπου 40/896 και το επίπεδο έλασμα τοποθετήθηκε επάνω. Εξαιτίας, της έκτασης της εργασίας δεν δίδεται η δυνατότητα να τοποθετηθούν μέσα όλοι οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν. Οι σημαντικότεροι έλεγχοι υπάρχουν στο συνοδευτικό CD της παρούσας εργασίας με την μορφή υπολογιστικών φύλλων Excel.

Ο σχεδιασμός έγινε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 «design of steel structures» (2006) χρησιμοποιώντας υπολογιστικά φύλλα Excel, η εγκυρότητα των οποίων ελέγχθηκε μέσω αριθμητικών επιλύσεων. Οι παραπάνω έλεγχοι οδήγησαν στην δημιουργία διαγραμμάτων για την επιλογή των ελάχιστου δυνατού πάχους των μεταλλικών στοιχείων.

Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον σχεδιασμό του δαπέδου και αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική μελέτη και επέκταση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK JU 2012/12

# Floor panel design of metal-linked resins

Kokolakis G. N. (supervised by Rautogiannis I.)

## Abstract

In this paper we dealt with the design of floor panels minerals as the main feature are the low weight, the low cost and the short assembly time. Also, as a means of connecting elements selected using appropriate resins.

The minerals that make up the floor are trapezoidal steel plates and metal levels plates. The floor is mounted on a galvanized square bar forks and designed as simply supported structure with dimensions 5.40m * 3.00m. In choosing the appropriate geometry of the floor tests were performed with several types of trapezoidal steel (type 40/896 , 50/1000 , 35/1000) but also uses the flat plate (effective above or above and below the trapezoidal steel sheeting, creating the familiar “sandwich”). Furthermore, we examined the case of two floor openings. Ultimately, for the present thesis, is used trapezoidal steel type 40/896 and level plate placed above the trapezoidal steel sheeting. Because of the scope of this paper is not given the opportunity to placed in all the tests carried out. The main tests are on the accompanying CD of this paper in the form of spreadsheet Excel.

The design was done according to Eurocode 3 “design of steel structures” (2006) using spreadsheets Excel, the validity of which was tested through numerical resolve. These tests led to the creation of charts for the selection of the minimum possible thickness of the metallic elements.

Finally, refer the conclusions drawn from the design of the floor and out proposals for future study and expansion of the topic of this paper.

# Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Ιωάννη Ραυτογιάννη επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τη συνεχή, πολύτιμη και πρόσχαρη βοήθεια που μου προσέφερε, ώστε να υπάρξει αυτό το αποτέλεσμα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ξενοφών Λιγνό μέλος ειδικού και εργαστηριακού διδακτικού προσωπικού (Ε.Ε.ΔΙ.Π.), για την καθοδήγηση και την αμέριστη βοήθειά του σε ολόκληρη την περίοδο εκπόνησης της εργασίας αυτής.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν ζητούμενο την ανεύρεση και μελέτη μίας ελαφριάς μεταλλικής κατασκευής, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πάτωμα κυρίως σε προσωρινά δώματα (ή μόνιμα). Η κατασκευή αυτή θα πρέπει να συναρμολογείται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα, χωρίς αυτό να σημαίνει μικρότερες μηχανικές αντοχές, ώστε να μην υπολείπεται σε σχέση με τα διαθέσιμα είδη πατωμάτων του εμπορίου. Επομένως, για να θεωρηθεί αποδεκτή η κατασκευή που μελετάται παρακάτω εκτός από τις αντοχές που πρέπει να έχει βάση κανονισμών, θα πρέπει να εκτιμηθούν και άλλα χαρακτηριστικά όπως το ίδιο βάρος της, το κόστος κατασκευής κτλ.. Ως κίνητρο στην αναζήτηση αυτή, είναι η ανάγκη για δημιουργία ελαφριών κατασκευών οι οποίες θα είναι εύκολες και γρήγορες κατά την συναρμολόγησή τους.

## 1.2 Ο χάλυβας στα οικοδομικά έργα

### 1.2.1 Οι πρώτες χρήσεις του χάλυβα ως δομικό υλικό – ιστορικά στοιχεία

Η εφαρμογή του χάλυβα ως δομικό υλικό στις κατασκευές ξεκίνησε να εμφανίζεται ευρέως, περί τα μέσα του 19$^{ου}$ αιώνα σηματοδοτώντας την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Η επαφή όμως με μεταλλεύματα σιδήρου, υπήρχε εκατοντάδες χρόνια πριν την πρώτη εφαρμογή του χάλυβα στις κατασκευές. Ο σίδηρος έχει σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα, πράγμα το οποίο και δυσκολεύει την κατεργασία του και του προσδίδει ψαθυρή συμπεριφορά. Για την αντιμετώπιση αυτής της συμπεριφοράς γίνανε προσπάθειες επεξεργασίας, ώστε να απομακρυνθούν οι ακαθαρσίες και να παραμείνει καθαρό το μέταλλο. Μία πρώτη προσπάθεια έγινε στην Αγγλία περί το 1750, όπου με χρήση κωκ (καθαρού C) ή λιθάνθρακα ως υλικού καύσης της καμίνου, μπόρεσε να επιτευχθεί υψηλή θερμοκρασία για την πλήρη τήξη του σιδήρου, ο οποίος στην συνέχεια χυνόταν σε ειδικά καλούπια με σκοπό να πάρει την τελική του μορφή. Ο σίδηρος που δημιουργούνταν με την παραπάνω διαδικασία έφερε την ονομασία χυτοσίδηρος. Ο χυτοσίδηρος έχει μικρή αντοχή σε θλίψη, αλλά και αρκετά μικρή αντοχή σε εφελκυσμό πράγμα το οποίο δεν βοηθούσε στην ευρεία χρήση του, σαν πρώτη ύλη στις κατασκευές.

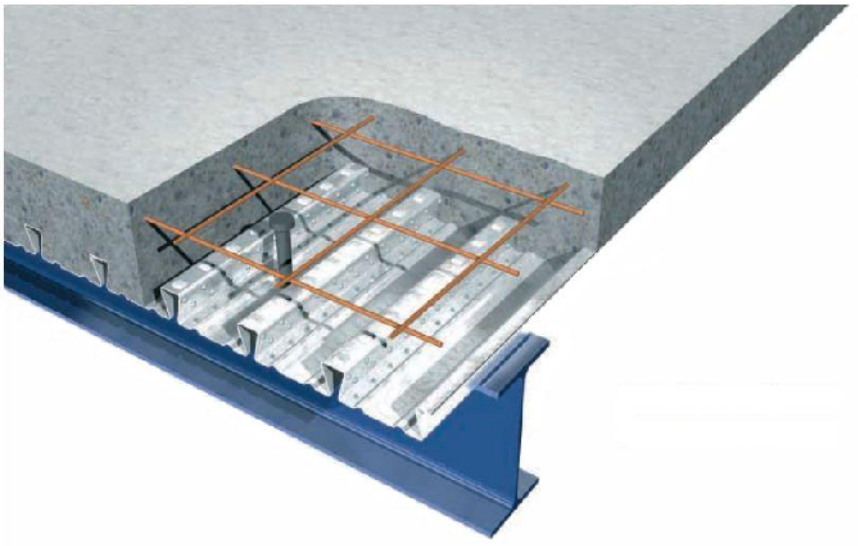
Εν συνεχεία, γύρω στο 1790, στην Αγγλία και πάλι, δημιουργήθηκαν κάμινοι οι οποίοι και κατάφερναν την καύση του άνθρακα δίπλα από το μετάλλευμα. Η απομάκρυνση των ακαθαρσιών γινόταν με ανάδευση του τήγματος. Η πολτοειδής μάζα που δημιουργούταν ονομάζονταν σφυρήλατος σίδηρος. Ο σφυρήλατος σίδηρος έχει ίδια αντοχή σε θλίψη και σε εφελκυσμό.

Ο σίδηρος παρ’ όλη την επεξεργασία που είχε υποστεί εξακολουθούσε να έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι και το 1850 περίπου όπου με τη χρήση μεταλλακτών Bassemer, και πάλι στην Αγγλία, επιτεύχθηκε περαιτέρω απομάκρυνση του άνθρακα. Οι επεξεργασίες αυτές του σιδήρου οδήγησαν στην εμφάνιση του χάλυβα, ο οποίος και χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη στις μεταλλικές κατασκευές. Η χρήση του χάλυβα, από το σημείο αυτό, έγινε κανόνας κυρίως στην γεφυροποιία λόγω της ανάγκης κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων, αλλά και στην βιομηχανία από την απαίτηση για μεγαλύτερο ύψος των κτιριακών εγκαταστάσεων.

### 1.2.2 Μορφές χρήσης του χάλυβα στις σύγχρονες κατασκευές

Με τη ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας στις αρχές του 20$^{ου}$ αιώνα σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες στέγασης για κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων, όπως για παράδειγμα δημοτικές αγορές, ναυπηγεία, εκθεσιακοί χώροι κλπ. οδήγησε στην κατασκευή κτιρίων με εξωτερική φέρουσα τοιχοποιία και εσωτερικό μεταλλικό σκελετό. Η χρήση του χάλυβα στα κτίρια αφορά κυρίως την συνάφεια ή αλλιώς την συνεργασία των σιδηροδοκών με τις πλάκες από σκυρόδεμα. Οι πλάκες μπορεί να αποτελούνται από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα, λεπτές πρόπλακες με επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα, χαλυβδόφυλλα με επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα ή πρόπλακες με επί τόπου σκυροδέτηση των αρμών.

Η παραπάνω συνεργασία οδήγησε στην κατασκευή σύμμικτων πλακών. Η χρήση σύμμικτων πλακών έχει οδηγήσει στην θεαματική αύξηση της χρήσης των μεταλλικών κατασκευών στα οικοδομικά έργα. Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από τα μεταλλικά φύλλα ή χαλυβδόφυλλα τα οποία επιτρέπουν την εύκολη ανάρτηση μέσω ειδικών αναρτήρων. Στην πλάκα σκυροδέματος προβλέπεται και ένας μικρός οπλισμός. Η προετοιμασία των στοιχείων γίνεται στο εργοστάσιο και μένει μονάχα η συναρμολόγηση και η διάστρωση του σκυροδέματος για το εργοτάξιο. Επομένως ο χρόνος κατασκευής της σύμμικτης πλάκας είναι πολύ μικρότερος σε σύγκριση με το χρόνο κατασκευής μίας πλάκας από σκυρόδεμα. Επιπλέον, η δυνατότητα πραγματοποίησης μεγαλύτερων ανοιγμάτων αλλά και η αυξημένη αντοχή έναντι πυρκαγιάς προσδίδει την ανωτερότητα της σύμμικτης πλάκας έναντι της σκυρόδετης.



Σχήμα 1.1: Μέρη από τα οποία αποτελείται μία σύμμικτη πλάκα .

Άλλα στοιχεία της κατασκευής που μπορούμε να συναντήσουμε σαν σύμμικτα είναι τα υποστυλώματα. Τα σύμμικτα υποστυλώματα αποτελούνται είτε από σιδηροδοκούς εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα, είτε από σωλήνες ή κοιλοδοκούς με σκυρόδεμα στο εσωτερικό τους. Το πρόβλημα της πυροπροστασίας, που υπάρχει στις μεταλλικές κατασκευές, αντιμετωπίζεται επαρκώς με τον εγκιβωτισμό στο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση όμως που έχουμε σωλήνες ή κοιλοδοκούς γεμισμένες με σκυρόδεμα προβλέπεται η χρησιμοποίηση διαμήκων οπλισμών στο εσωτερικό της διατομής, ώστε σε περίπτωση πυρκαγιάς όπου το χαλύβδινο περίβλημα χάνει τις αντοχές του τότε το υποστύλωμα να συμπεριφέρεται σαν υποστύλωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

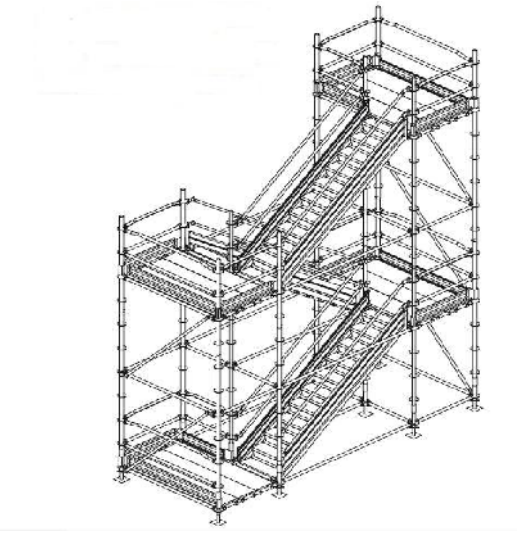
Κατασκευές οι οποίες χρησιμοποιούν σύμμικτα στοιχεία είναι πολύ διαδεδομένες σήμερα σε όλο τον κόσμο και κυρίως στις ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες όπως στην Ιαπωνία, η οποία και κατέχει το 60% της αγοράς. Τέτοιες κατασκευές είναι μονώροφα ή πολυώροφα κτίρια γραφείων, κατοικιών, γκαράζ, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αθλητικά στάδια, γέφυρες κλπ. Η χρήση του χάλυβα δεν αφορά μονάχα κατασκευές κτιριακών εγκαταστάσεων και γεφυρών αλλά αφορά και μία σειρά έργων ειδικότητας μηχανικού όπως είναι για παράδειγμα θυροφράγματα, θαλάσσιες πλατφόρμες, γερανοί, δεξαμενές αποθήκευσης, αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου, γεωργικές αποθήκες, θερμοκήπια κλπ.

Στην Ελλάδα δεν μπορούμε να μιλάμε ακόμα για μεγάλη παρουσία μεταλλικών κατασκευών. Από το τέλος του 19$^{ου}$ αιώνα σημειώνεται μία πρώτη επαφή με τις μεταλλικές κατασκευές κυρίως στην γεφυροποιία χωρίς όμως να υπάρξει γενικότερη εξάπλωση. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όλο ένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη στην δημιουργία κατασκευών με χρήση του χάλυβα ως πρώτη ύλη. Η ανάπτυξη αυτή προήλθε και από την μεγάλη τεχνολογική πρόοδο με σύγχρονα μηχανήματα και εγκαταστάσεις. Αποτέλεσμα αυτών είναι να συναντάμε βιομηχανικά υπόστεγα, σούπερ μάρκετ, ξενοδοχεία κλπ. τα οποία σαν πρώτη ύλη έχουν το χάλυβα.

### 1.2.3 Προσωρινές κατασκευές με χρήση διατομών από χάλυβα

Ο χάλυβας ως πρώτη ύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός από τις μόνιμες κατασκευές, που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην δημιουργία προσωρινών κατασκευών. Ο όρος «προσωρινή» αναφέρεται στην δυνατότητα λειτουργίας της κατασκευής για κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα το οποίο και εξαρτάται από τον σκοπό για τον οποίο έχει δημιουργηθεί η κατασκευή αυτή. Από την στιγμή που θα επιτευχθεί ο σκοπός για τον οποίο δημιουργήθηκε, τότε η κατασκευή αποσυναρμολογείται ή μεταφέρεται σε κάποιο άλλο σημείο. Παραδείγματα τέτοιων προσωρινών κατασκευών αναφέρονται παρακάτω :

- Προκατασκευασμένα μεταλλικά αγροτόσπιτα.
- Βοηθητικά λυόμενα σπίτια για τη προσωρινή στέγαση εργατών.
- Μεταλλικά γραφεία στον ευρύτερο χώρο των εργοταξίων.
- Υπαίθριες μεταλλικές τουαλέτες.
- Κατασκευές για την συντήρηση και αποκατάσταση αρχιτεκτονικών μνημείων.
- Μεταλλικά δάπεδα εργασίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3 .
- Συστήματα βοηθητικών κλιμάκιων για εργοτάξια, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2 .



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα μεταλλικών βοηθητικών κλιμακίων για εργοτάξια .

Σχήμα 1.3: Παράδειγμα μεταλλικού προσωρινού δαπέδου εργασίας .

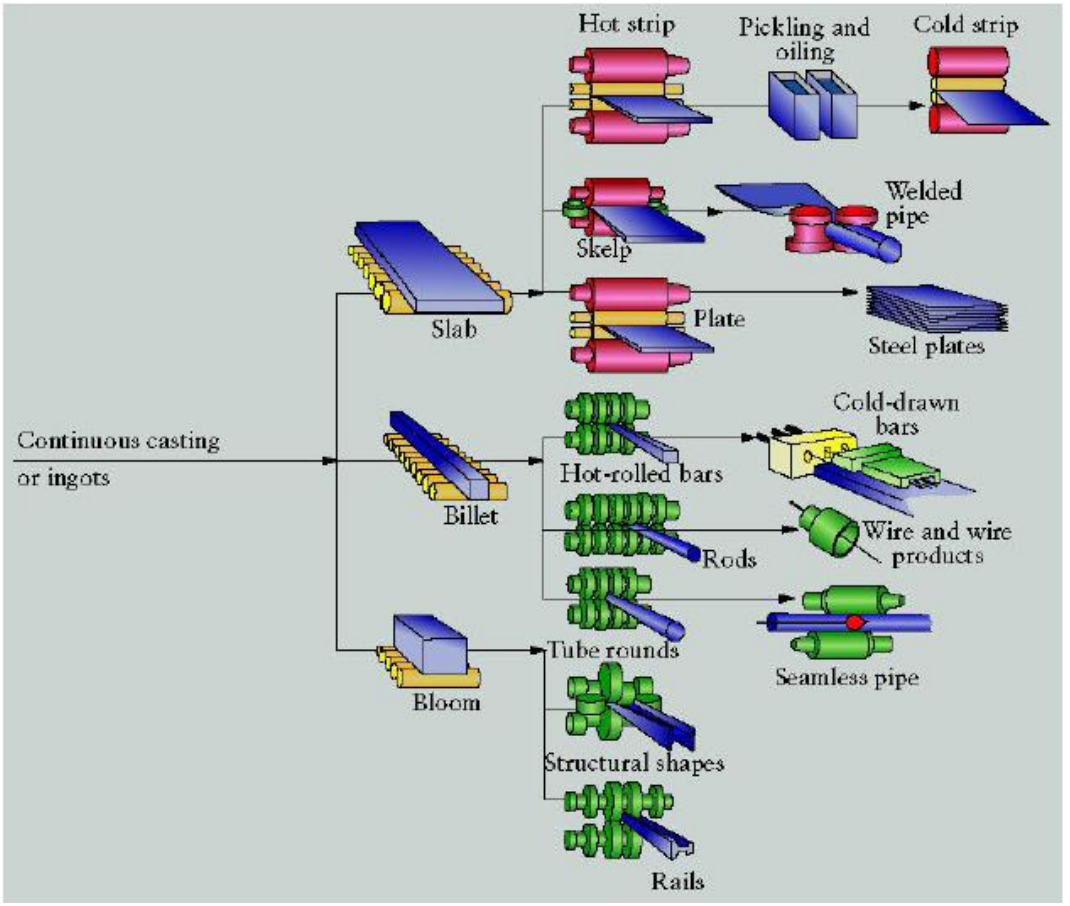
## 1.3 Η χρήση νέων μεθόδων παραγωγής διατομών από χάλυβα

### 1.3.1 Η εμφάνιση του κριτηρίου της «βέλτιστης λύσης»

Η μεγάλη πρόοδος στον τομέα της κατασκευαστικής τεχνολογίας καθώς και η εμφάνιση του κριτηρίου της βέλτιστης λύσης, το οποίο καθορίζεται από τις απαιτήσεις του ιδιοκτήτη του έργου, οδήγησε στην δημιουργία νέων υλικών αλλά και μεθόδων κατασκευής. Η έκφραση « βέλτιστη λύση » αφορά ένα ευρύ φάσμα κριτηρίων, τα οποία πρέπει να επαληθεύει ώστε να είναι ακριβής ως χαρακτηρισμός. Τα σημαντικότερα από αυτά τα κριτήρια είναι το ελάχιστο κόστος, το ελάχιστο βάρος, ο ελάχιστος χρόνος κατασκευής, η αισθητική κλπ.

Γίνεται αντιληπτό ότι το πρόβλημα επίτευξης των άνω κριτηρίων σε ένα κατασκευαστικό έργο δεν μπορεί να επιλυθεί μονάχα με την μαθηματική απεικόνιση του προβλήματος αλλά και με τις αποφάσεις τις οποίες πρέπει να πάρει ο μελετητής του έργου. Επομένως, ο μελετητής ύστερα από ενδελεχή μελέτη των χαρακτηριστικών του έργου θα επιλέξει την βέλτιστη γι αυτόν λύση. Τα υψηλότερης αντοχής προϊόντα που δημιουργήθηκαν, οδήγησαν στην κατασκευή νέων μοντέλων μεταλλικών κατασκευών που πληρούσαν τα παραπάνω κριτήρια και απείχαν από τις κλασικές μεταλλικές κατασκευές που συναντούσαμε μέχρι τότε.

Με βάση, λοιπόν, τη μορφή και τις λειτουργικές απαιτήσεις του κατασκευαστικού έργου, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από μία μεγάλη ποικιλία απλών αλλά και σύνθετων διατομών. Η ποικιλία αυτή των διατομών αποτελείται από τυποποιημένες διατομές θερμής έλασης, ψυχρής έλασης ή λεπτότοιχες και από σωλήνες. Τα παραπάνω αποτελούν την παραγωγή των τελικών προϊόντων του χάλυβα με σκοπό τη χρήση τους στα κατασκευαστικά έργα.

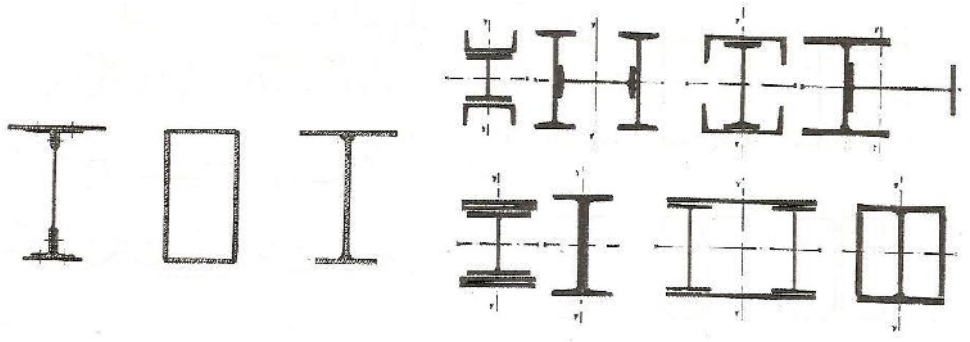



Σχήμα 1.4: Διαδικασία παραγωγής διατομών θερμής έλασης, ψυχρής και σωλήνων .

### 1.3.2 Διατομές θερμής έλασης

Η θερμή έλαση είναι η πιο συνήθης διαδικασία και αφορά το 90% περίπου της συνολικής παραγωγής χάλυβα. Κατά την παραγωγή, το υλικό περνά από μία σειρά περιστρεφόμενων ελάστρων, τα οποία και προσδίδουν την τελική μορφή στο προϊόν. Η πρώτη ύλη της θερμής έλασης είναι χαλύβδινα στοιχεία ορθογωνικής ή τετραγωνικής μορφής, τα οποία και θερμαίνονται στους 1200° C ώστε να γίνουν εύπλαστα και να πάρουν το σχήμα και το μέγεθος του τελικού προϊόντος.

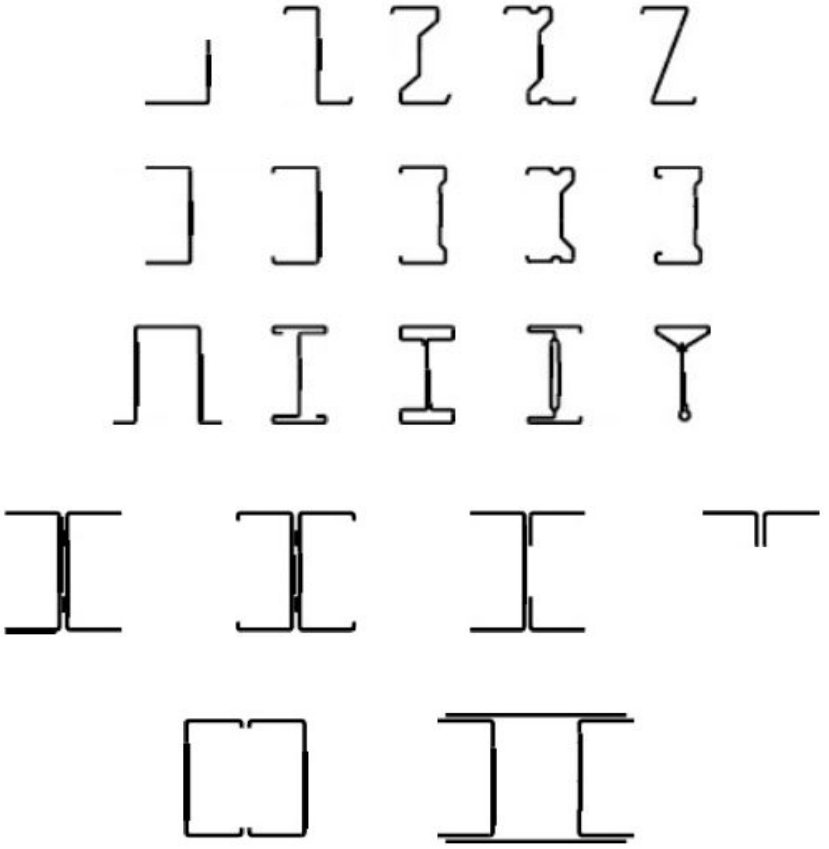
Τα έλαστρα που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία έχουν μορφή κυλινδρικού τυμπάνου και μπορούμε να το βρούμε με λεία επιφάνεια ή με εγκοπές. Η θερμή έλαση βελτιώνει και τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα που υπόκειται στην επεξεργασία αυτή. Τα κυριότερα προϊόντα θερμής έλασης είναι οι διατομές ταυ, οι διατομές πι ή ου, οι υψίκορμες δοκοί με κεκλιμένα πέλματα, τα ισοσκελή ή ανισοσκελή γωνιακά, οι πλατύπελμες δοκοί με παράλληλα πέλματα, οι διατομές ζήτα καθώς και σύνθετες ή πολυμελής διατομές ως συνδυασμός των άνω διατομών.



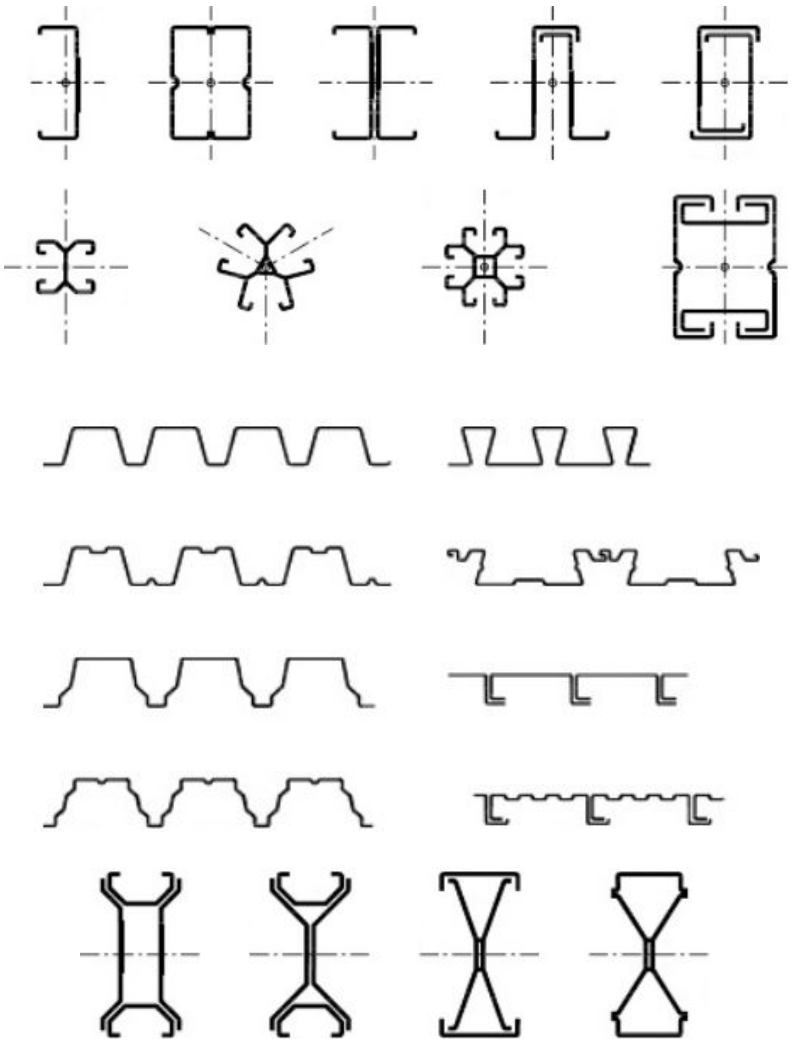
Σχήμα 1.5: Παραδείγματα διατομών θερμής έλασης .

### 1.3.3 Διατομές ψυχρής έλασης

Η διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή λεπτότοιχων διατομών πάχους μικρότερου από, συνήθως 2mm, είναι η έλαση εν ψυχρώ. Κατά την διάρκεια της διεργασίας ένα συνεχές χαλύβδινο φύλλο περνάει διαμέσου μίας σειράς ελάστρων και παίρνει σταδιακά την τελική του μορφή. Το χαρακτηριστικό των διατομών ψυχρής ελάσεως είναι ότι κατασκευάζονται από γαλβανισμένα ή μη επίπεδα ελάσματα θερμής και έχουν σταθερό πάχος σε όλη τη διατομή αλλά και γενικότερα στο μήκος τους. Επίσης, κατά την εν ψυχρώ παραμόρφωση αυξάνει το όριο διαρροής και η εφελκυστική αντοχή του στοιχείου.

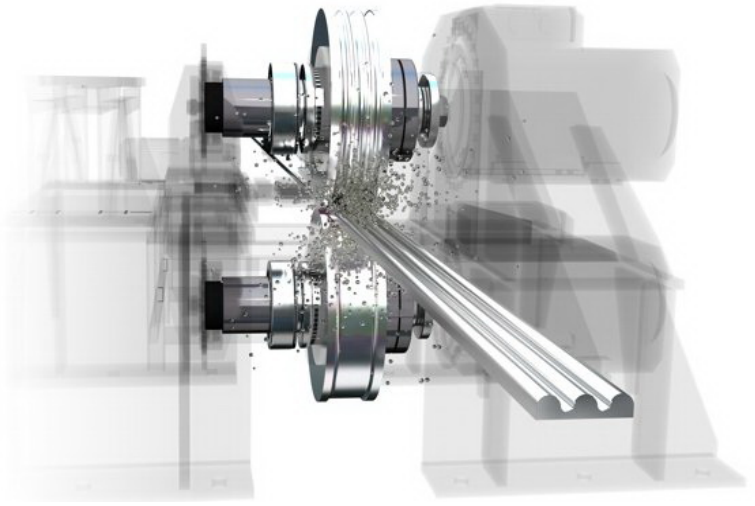


Σχήμα 1.6: Παραδείγματα τυπικών μορφών για μέλη με εν ψυχρώ έλαση .



Σχήμα 1.7: Παραδείγματα μελών ψυχράς διαμορφώσεως και διαμορφωμένων επικαλύψεων .

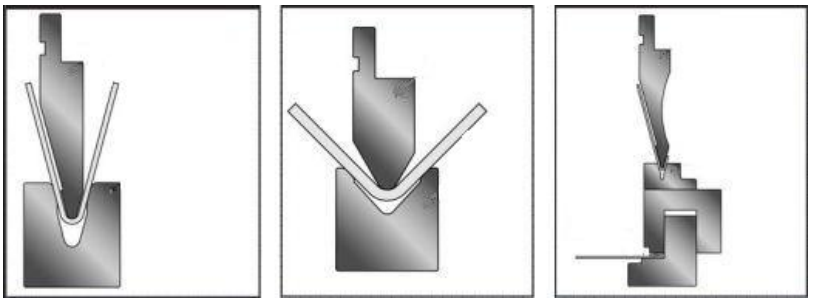
Η διαδικασία της ψυχρής ελάσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί με αναδίπλωση, με συμπίεση αλλά και με ψυχρή έλαση.



Σχήμα 1.8: Παραγωγή διαμορφωμένων επικαλύψεων μέσω της ψυχράς ελάσεως .

### 1.3.4 Η διαδικασία παραγωγής σωλήνων

Για την παραγωγή σωλήνων χρησιμοποιείται επίπεδο έλασμα θερμής έλασης το οποίο κάμπτεται και συγκολλείται συνεχώς. Η συγκόλληση γίνεται μέσω πλευρικής πίεσης που ασκείται στη διατομή από ένα ζεύγος τροχών. Κατά την παραγωγή συγκολλητών σωλήνων οι άξονες των ελάστρων δεν είναι παράλληλοι, αλλά έχουν μία μικρή κλίση ώστε να σπρώχνουν ελικοειδώς το μέταλλο ανάμεσά τους. Με διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται η εξωτερική διάμετρος μέχρι την διάσταση που πρέπει να αποκτήσει. Από τους σωλήνες παράγονται και οι κοίλες διατομές.



Σχήμα 1.9: Διαδικασία κάμψης ελάσματος για την παραγωγή σωλήνων .

### 1.3.5 Τα είδη διάβρωσης των λεπτότοιχων διατομών και παράγοντες που τα ευνοούν

Οι μεταλλικές κατασκευές εξαιτίας του χάλυβα είναι ευαίσθητες στη φθορά. Είναι κατανοητό, ότι και οι λεπτότοιχες διατομές ή ψυχρής έλασης, εξαιτίας του λεπτού τους πάχος, έχουν να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο κίνδυνο φθοράς σε σύγκριση με τις τυπικές διατομές από χάλυβα. Οι λόγοι που οδηγούν στη φθορά είναι αφενός η διάβρωση και αφετέρου η φωτιά. Εφόσον οι λεπτότοιχες διατομές χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μίας μόνιμης κατασκευής απαιτείται η εκ βαθέων εξέταση της απαιτούμενης αντιδιαβρωτικής προστασίας και της απαιτούμενης πυροπροστασίας.

Η διάβρωση του χάλυβα διακρίνεται σε χημική και σε ηλεκτροχημική. Η χημική διάβρωση αφορά την χημική αντίδραση του μετάλλου με τα στοιχεία του περιβάλλοντος στο οποίο ανήκει. Τα στοιχεία αυτά του περιβάλλοντος μπορούν να εμφανίζονται σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή. Κατά την ηλεκτροχημική διάβρωση εμφανίζεται το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης και της κίνησης των ηλεκτρονίων. Η συνηθέστερη μορφή ηλεκτροχημικής διάβρωσης είναι η οξείδωση.

Μερικοί σημαντικοί παράγοντες του περιβάλλοντος που ευνοούν την διάβρωση παρουσιάζονται παρακάτω :

- Θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται κατά κανόνα αύξηση της ταχύτητας των χημικών δράσεων. Γενικά, η επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από την επίδρασή της στους παράγοντες που επηρεάζουν την διαβρωτική δράση για παράδειγμα το δυναμικό των γαλβανικών στοιχείων κλπ.

- Ανομοιογένεια της επιφάνειας

Η αύξηση της ανομοιογένειας της επιφάνειας συνεπάγεται με αύξηση της διάβρωσης λόγω δημιουργίας τοπικών γαλβικών στοιχείων.

- Ύπαρξη τριεπιφάνειας

Η ύπαρξη τριεπιφάνειας συνεπάγεται εμφάνιση έντονης και εντοπισμένης διάβρωσης λόγω αύξησης των δυναμικών γραμμών του ηλεκτροστατικού πεδίου που εμφανίζεται.

- Πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος

Στην πράξη το διαβρωτικό περιβάλλον είναι πολύπλοκο με αποτέλεσμα στο σύστημα να μην εμφανίζονται μονάχα οι δράσεις της οξείδωσης του μετάλλου και της αναγωγής ενός ιοντικού είδους, αλλά περισσότερες καθοδικές δράσεις.

- Επαφή ανόμοιων μετάλλων

Η επαφή ανόμοιων μετάλλων συχνά οδηγεί σε αυξημένες ταχύτητες διάβρωσης που προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας τη θεωρία των μικτών δυναμικών.

### 1.3.6 Μέθοδοι προστασίας έναντι της διάβρωσης

Η προστασία από την διάβρωση στοχεύει στην ανάσχεση των οξειδοαναγωγικών δράσεων στο σύστημα διάβρωσης με την καταλληλότερη μέθοδο. Οι μέθοδοι προστασίας μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες με κριτήριο το είδος της επέμβασης στο σύστημα.

- Μέθοδοι επέμβασης στο ίδιο το υλικό, όπως χημική σύσταση (ανοξείδωτοι χάλυβες) στη μικροδομή του υλικού με θερμική επεξεργασία, με χρήση ειδικού μηχανήματος αμμοβολής κλπ.
- Μέθοδοι επέμβασης στο σύστημα, όπως π.χ. με επιβολή εξωτερικής τάσης μέσω ανορθωτών, με θυσιαζόμενα ηλεκτρόδια κλπ.
- Μέθοδοι επέμβασης στο διαβρωτικό περιβάλλον του συστήματος όπως με προσθήκη ουσιών που επιβραδύνουν τη διάβρωση (αναστολείς σε κυκλώματα ψύξεως).
- Μέθοδοι επέμβασης στην επιφάνεια του υλικού στην πράξη χρησιμοποιώντας μεγάλη ποικιλία υλικών (π.χ. βαφές, πολυμερή, φωσφάτωση). Η κατηγορία αυτή αφορά την παθητική προστασία και είναι η πιο συνηθισμένη στην πράξη.

### 1.3.7 Ο ρόλος της φωτιάς στην φθορά των μεταλλικών στοιχείων

Ένας ακόμη λόγος που οδηγεί σε φθορά μεταλλικά στοιχεία είναι η πυρκαγιά. Τα υλικά με την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας τους μεταβάλλουν τις αντοχές τους και τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Καθώς εξελίσσεται το φαινόμενο της πυρκαγιάς ελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας τις οποίες και απορροφάει η μεταλλική κατασκευή αυξάνοντας έτσι την δική της θερμοκρασία. Η αντοχή του χάλυβα εξαντλείται περί τους 927° C, η δυσλειτουργία όμως εμφανίζεται ήδη περί τους 500° C. Επομένως κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής θα πρέπει να προβλέπονται όλα τα παραπάνω από το μελετητή του έργου.

Η πυραντίσταση του χάλυβα μπορεί να αυξηθεί αν χρησιμοποιηθούν πυρασφαλείς επικαλύψεις όπως ελαφροσκυρόδεμα, διογκωμένη πολυουρεθάνη, ειδικές βαφές κλπ. Παράλληλα, απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενεργητικής πυροπροστασίας όπως αναφέρεται στους κανονισμούς. Η ενεργητική πυροπροστασία περιλαμβάνει συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς, αυτόματα συστήματα πυρόσβεσης, φορητοί πυροσβεστήρες κλπ.

Τα φαινόμενα διάβρωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν αφορούν μονάχα τις μεταλλικές κατασκευές μόνιμης χρήσης αλλά πρέπει να υιοθετούνται και για τις προσωρινές μεταλλικές κατασκευές. Παρά την μικρή διάρκεια ζωής αυτών των κατασκευών δεν θα πρέπει να αμελούνται οι μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας αλλά

και οι κανόνες πυρασφάλειας που ισχύει γενικότερα στις μεταλλικές κατασκευές. Από την στιγμή μάλιστα που θα υπάρξει επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής καλό θα ήταν να μην εμφανίζονταν σημάδια φθοράς σε τακτά χρονικά διαστήματα.

## 1.4 Τα μέσα συνδέσεως στις ελαφρές μεταλλικές κατασκευές

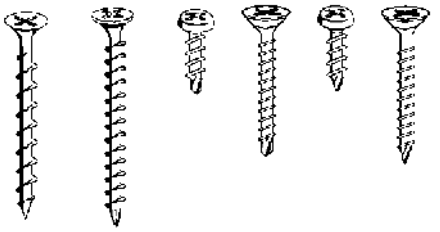
Στις ελαφρές μεταλλικές κατασκευές, με τις οποίες θα ασχοληθεί η παρούσα διπλωματική, τα μέσα συνδέσεως μπορούν να καταταγούν με βάση την λειτουργία τους σε μηχανικά μέσα συνδέσεως σε συγκολλήσεις και σε χρήση εποξειδικών ρητινών.

### 1.4.1 Μηχανικά μέσα συνδέσεως

Τα μηχανικά μέσα συνδέσεως, με βάση το πεδίο εφαρμογής τους, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

#### 1.4.1.1 Η χρήση βιδών

Οι βίδες αποτελούν τα πιο γνωστά μέσα συνδέσεως και με τη σειρά τους μπορούν να διακριθούν στις κοινές βίδες χωρίς περικόχλιο, στις αυτοκοχλιούμενες και στις τρυπανόβιδες.



Σχήμα 1.10: Τυπικά είδη βιδών του εμπορίου .

Στις βίδες χωρίς περικόχλιο, απαιτείται η δημιουργία οπών στα ελάσματα τα οποία πρόκειται να συνδεθούν, ώστε να περάσουν εν συνέχεια με κατάλληλο μηχάνημα οι απαιτούμενες βίδες.

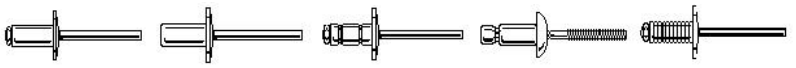
Στις αυτοκοχλιούμενες βίδες, σε αντίθεση με τις κοινές βίδες, πρέπει να διανοιχθεί οπή αρκετά μικρότερης διαμέτρου. Οι βίδες αυτές φέρουν αιχμές και για να είναι επιτυχής η σύνδεση αρκεί να εισέλθουν οι πρώτες ελικώσεις στην οπή.

Στις τρυπανόβιδες δεν απαιτείται η διάνοιξη οπής στα μεταλλικά στοιχεία. Οι βίδες αυτοί έχουν αιχμή, η οποία έχει διαμορφωθεί σε τρυπάνι και μπορεί να διανοίγει οπές από μόνη της. Οι διάμετροι που συναντάμε αυτές τις οπές είναι 4.22mm, 4.8mm, 5.5mm, 6.3mm.

#### 1.4.1.2 Η χρήση τυφλών ήλων

Η επιλογή των τυφλών ήλων γίνεται όταν εξαιτίας της μορφολογίας της κατασκευής είναι αδύνατη η πρόσβαση και από τις δύο πλευρές της κατασκευής. Η οπή διανοίγεται εκ των προτέρων και με την χρήση κατάλληλου εργαλείου επιτυγχάνεται η σύνδεση των διατομών. Οι τυφλοί ύλοι είναι ευρύτερα γνωστοί και ως «πριτσίνια». Οι τυφλοί ήλοι αποτελούνται από αλουμίνιο για κατασκευές που δεν φέρουν ισχυρές εντάσεις (π.χ. κατασκευές από πλαστικό), αλλά τους συναντάμε και με κράματα νικελίου-χαλκού ή

ανθρακούχου χάλυβα. Τους συναντάμε με διαμέτρους 2.6mm, 3.0mm, 7.0mm, 4.0mm, 4.8mm, 6.4mm.



Σχήμα 1.11: Τυπικά είδη τυφλών ήλων του εμπορίου .

1.4.1.3 Η χρήση κοχλιών με περικόχλια

Τους κοχλίες αυτούς, τους συναντάμε να έχουν σπείρωμα καθ' όλο τον κορμό ή να έχουν μονάχα στην περιοχή κοντά στην αιχμή τους. Σε περιπτώσεις λεπτότοιχων διατομών όπου το συνολικό τους πάχος δεν υπερβαίνει τα 8.00mm δεν επιτρέπεται η προένταση. Ενδεχόμενη προένταση σε λεπτά ελάσματα θα οδηγούσε σε τραυματισμό των επιφανειών. Οι διάμετροι που συναντάμε τους κοχλίες είναι από M6 έως M16.

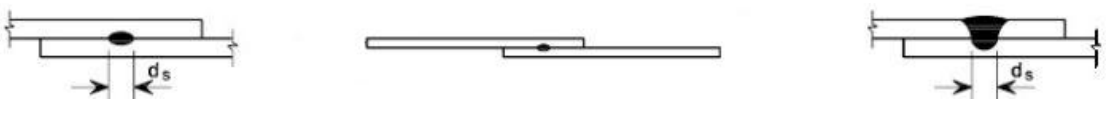
1.4.1.4 Η χρήση της μεθόδου της αναδίπλωσης

Η αναδίπλωση χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μη φέρουσας κατασκευής ή σε επικαλύψεις που δεν μετέχουν στη διαφραγματική λειτουργία. Η διαδικασία της αναδίπλωσης γίνεται με ειδική συσκευή.

### 1.4.2 Η συγκόλληση ως μέσο σύνδεσης λεπτότοιχων ελασμάτων

Για λεπτά ελάσματα, όπως είναι οι διατομές ψυχρής έλασης, δεν χρησιμοποιούνται οι κλασικές συγκολλήσεις μεταλλικών κατασκευών αλλά δύο νέες μορφές συγκολλήσεων. Οι μορφές αυτές αποτελούν τις συγκολλήσεις προβολής και τις σημειακές συγκολλήσεις τόξου. Οι συγκολλήσεις πρέπει να σχεδιάζονται για την παραλαβή μονάχα διατμητικών δυνάμεων.

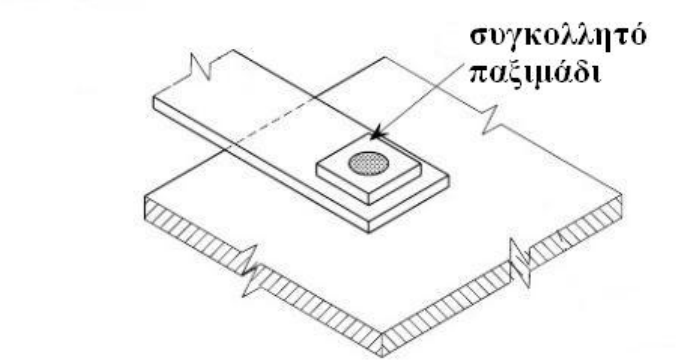
Στις συγκολλήσεις προβολής (ή ηλεκτροπόντες) δεν χρησιμοποιείται πρόσθετο υλικό για τη συγκόλληση, αλλά τα ελάσματα τήκονται και συγκολλιόνται σε μία μικρή περιοχής επαφής τους. Η διαδικασία επίτευξης της συγκόλλησης πραγματοποιείται με την χρήση δύο ράβδων που έρχονται σε επαφή με τις εξωτερικές επιφάνειες των ελασμάτων που πρόκειται να συγκολληθούν. Με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος προκαλείται τήξη ανάμεσα στα δύο ελάσματα. Η τήξη αυτή αποτελεί την ηλεκτροπόντα. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας δεν εμφανίζεται κάποια αλλαγή στην μορφολογία της κατασκευής, μονάχα ίσως παρατηρηθεί μία μικρή κυκλική περιοχή με ελαφρώς διαφορετικό χρωματισμό.




Σχήμα 1.12: Συγκολλήσεις με ηλεκτροπόντες .

Οι σημειακές συγκολλήσεις τόξου, διαιρούνται στις κυκλικές και στις επιμήκεις. Για την υλοποίηση την συγκόλλησης προϋπόθεση είναι η διάνοιξη οπής ή σχισμής στο ένα έλασμα. Το υλικό που πληροί την οπή του ενός ελάσματος, συγκολλιέται στο δεύτερο. Οι συγκολλήσεις αυτές χρησιμοποιούνται μονάχα όταν το ένα συνδεόμενο έλασμα έχει πάχος μικρότερο από 4.0mm ή για περισσότερα ελάσματα συνδεόμενα προς το βασικό πρέπει το άθροισμα των παχών να είναι επίσης μικρότερο από 4.00mm. Σε περίπτωση που το

συνδεόμενο έλασμα έχει πάχος μικρότερο από 0.7mm τότε χρησιμοποιείται υποχρεωτικώς συγκολλητό παξιμάδι. Ως προς την κατασκευή τους η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.




Σχήμα 1.13: Χρήση συγκολλητού παξιμαδιού .

### 1.4.3 Η χρήση εποξειδικών ρητινών ως μέσο σύνδεσης λεπτότοιχων ελασμάτων

1.4.3.1 Οι πρώτες χρήσεις της εποξειδικής ρητίνης στις κατασκευές

Τα πρώτα προϊόντα που σήμερα θα ονομάζονταν εποξειδικές ρητίνες, δημιουργήθηκαν το περί 1891. Παρ όλα αυτά οι εποξειδικές ρητίνες έγιναν γνωστές στη βιομηχανική αγορά και απέκτησαν εμπορική αξία περί το 1941 κατόπιν της ανεξάρτητης δουλείας του Pierre Castan στην Ελβετία και του Sylvan Greenlee στις Η.Π.Α.. Η πρώτη εποξειδική ρητίνη που δημιουργήθηκε ( BPA ) ήταν το προϊόν της διφαινόλης Α και της επιχλωρυδίνης. Στις μέρες μας, οι εποξειδικές ρητίνες κατασκευάζονται με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ανάλογα με τη χρήση τους. Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμεύουν σε πολλές εφαρμογές στο χώρο της βιομηχανίας, οι σημαντικότερες από τις οποίες φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.1: Ποσότητες της εποξειδικής ρητίνης και οι εφαρμογές χρήσης .

| | 1990 | | 1991 | |
|---|---|---|---|---|
| | 1000 τόνοι | % | 1000 τόνοι | % |
| Προστατευτκό κάλυμμα | 89 | 49 | 84 | 51 |
| Ηλεκτρικές εφαρμογές | 25 | 14 | 22 | 13 |
| Ενισχυμένες ρητίνες | 14 | 7,5 | 13 | 8 |
| Συγκολλητικό | 13 | 7,5 | 12 | 7,25 |
| Υλικό πατώματος | 12 | 6,5 | 11 | 6,25 |
| Βοηθητικό υλικό | 13 | 7,5 | 12 | 7,25 |
| Άλλες Χρήσεις | 15 | 8,3 | 12 | 7,25 |

Η χημική ομάδα στην οποία ανήκουν οι εποξειδικές ρητίνες αποτελείται από ένα άτομο οξυγόνου ενωμένο με δύο άτομα άνθρακα, συνδεδεμένα ήδη μεταξύ τους με κάποιο άλλο

τρόπο. Η πιο απλή εποξειδική ομάδα είναι ένας τριμελής δακτύλιος με όνομα α-επόξυ ή 1.2-επόξυ. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πολυμερή, τα οποία προκειμένου να χρησιμοποιηθούν από τον καταναλωτή, πρέπει να υποστούν την διεργασία της σκλήρυνσης. Κατά την σκλήρυνση από τα γραμμικά μόρια της εποξειδικής ρητίνης πρέπει να δημιουργηθούν διασταυρώσεις, δηλαδή να προκύψει ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές πλέγματος. Προκειμένου να αυξηθούν η διάρκεια ζωής και οι μηχανικές αντοχές της εποξειδικής ρητίνης χρησιμοποιούνται πρόσθετα. Στα πρόσθετα συμπεριλαμβάνεται η προσθήκη θερμοπλαστικών συνδετικών υλικών.

### 1.4.3.2 Οι μορφές και ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών

Τις εποξειδικές ρητίνες, ανάλογα το σκοπό για τον οποίο θέλουμε να τις χρησιμοποιήσουμε, μπορούμε να τις εντοπίσουμε είτε σε υγρή είτε σε στέρεα μορφή.

Οι υγρές ρητίνες είναι υγρά σχετικά παχύρευστα που όταν θερμαίνονται αποκτούν μικρότερο ιξώδες. Αν μεγεθυνθούν 10 εκατομμύρια φορές, τα μόρια της ρητίνης μοιάζουν με μικρά κομμάτια από νήμα με μήκος που ποικίλει από 1.27cm μέχρι περίπου 5.50cm. Μετά τη διαδικασία της σκλήρυνσης τα νήματα αυτά ενώνονται στα άκρα και κατά μήκος, σχηματίζοντας διασταυρώσεις. Τα τελικά προϊόντα είναι στερεά που με θέρμανση μαλακώνουν, αλλά δε γίνονται ποτέ υγρά. Η σκλήρυνση των ρητινών μη αναστρέψιμη διαδικασία.

Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται κυρίως σαν επικαλυπτικά στοιχεία στην κατασκευή, με τη μορφή μάλιστα διαλυμάτων. Όπως συμβαίνει και με τις υγρές ρητίνες η σκλήρυνση είναι εύκολη και αναντιστρεπτή.

Η ευρεία χρήση των εποξειδικών ρητινών οφείλεται στο γεγονός ότι εμφανίζουν μερικές χρήσιμες ιδιότητες, οι σημαντικότερες εκ των οποίων αναγράφονται παρακάτω:

- Χαμηλό ιξώδες

Οι υγρές ρητίνες και τα μέσα σκλήρυνσης έχουν αρκετά μικρό ιξώδες, με αποτέλεσμα την εύκολη διεργασία και τροποποίηση τους στην επιφάνεια χρήση.

- Εύκολη διεργασία σκλήρυνσης

Οι εποξειδικές ρητίνες σκληρύνονται γρήγορα και εύκολα σε θερμοκρασίες από 5° C έως 150° C, ανάλογα με το μέσο σκλήρυνσης που χρησιμοποιείται.

- Ικανότητα πρόσφυσης

Οι εποξειδικές ρητίνες, τόσο στην υγρή όσο και στην στέρεα μορφή, έχουν εξαιρετική πρόσφυση. Το παραπάνω οφείλεται στην ύπαρξη πολικών υδροξυλικών και αιθερικών ομάδων.

- Μικρή συστολή

Από τις σημαντικότερες ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών είναι η μικρή συστολή τους κατά την διαδικασία σκλήρυνσης. Παράλληλα, κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης δεν παράγονται πτητικά παραπροϊόντα.

- Αντοχή σε χημικά

Οι εποξειδικές ρητίνες αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της σκλήρυνσης, έχουν μεγάλες αντοχές και δεν αλλοιώνονται αν έρθουν σε επαφή με χημικά ή άλλους διαλύτες.

#### 1.4.3.3 Εφαρμογές εποξειδικών ρητινών

Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της δικιάς τους προσαρμοστικότητας, αφού έχουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες και αντοχές στη φθορά. Οι ρητίνες αυτές χρησιμοποιούνται ευρύτερα σε επιφανειακά επιστρώματα και προσκολλητικά, ιδιαίτερα για επαφή δύο ή περισσοτέρων μετάλλων. Επίσης, έντονη είναι η χρήση τους στην παραγωγή διαμορφωμένων καλουπιών και καλουπιών χαμηλής πίεσης. Υπάρχουν στην αγορά πλειάδα εργαλείων βασισμένα στη ρητίνη, υλικό το οποία τα καθιστά φθηνότερα στην κατασκευή τους.

Ένα από τα σημαντικότερα πεδία εφαρμογής των εποξειδικών ρητινών είναι η βιομηχανία των αεροσκαφών. Επιλέγονται σαν συγκολλητικό μέσο σε κατασκευές κυψέλων για τα αεροσκάφη και σαν διαστρωματικές ρητίνες σε εφαρμογές πυραυλικών συστημάτων. Επιπλέον, οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται στην επισκευή αυτοκινήτων, μοτοσυκλετών, μεταλλικών σκαφών θαλάσσης κλπ.

Η χρήση των εποξειδικών ρητινών είναι περιορισμένη στα έργα πολιτικού μηχανικού Χρησιμοποιείται κυρίως στους αυτοκινητόδρομους σαν στεγανοποιητικό μέσο και σαν μέσο επικάλυψης του σκυροδέματος.

## 1.5 Τα μέλη των μεταλλικών κατασκευών

Τα φέροντα στοιχεία, από τα οποία συντίθενται οι μεταλλικές κατασκευές, είναι πολύ σημαντικά στη λειτουργία της κάθε κατασκευής. Τα στοιχεία αυτά, παραλαμβάνουν και μεταφέρουν στο έδαφος τα κάθε είδους φορτία της κατασκευής. Τα κυριότερα φέροντα στοιχεία των μεταλλικών κατασκευών είναι τα επιστεγάσματα, οι διαδοκίδες, οι ράβδοι αξονικά εκτεινόμενες, οι δοκοί, οι στύλοι, οι σύνδεσμοι, τα πέδιλα - εφέδρανα και τέλος τα πατώματα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη βατού δαπέδου, επομένως αυτό το φέρον στοιχείο των μεταλλικών κατασκευών θα αναλυθεί παρακάτω.

Η διαμόρφωση και διάταξη των πατωμάτων αποτελούν ένα από τα βασικά στοιχεία στην κατασκευή ενός κτιρίου. Τα πατώματα δεν έχουν μονάχα ρόλο στατικό, δηλαδή παραλαβής και μεταφοράς δυνάμεων, αλλά και λειτουργικό, δεδομένου ότι μέσα από αυτά θα περάσουν και θα στερεωθούν όλοι οι αγωγοί λειτουργιών. Βασικό μέλημα κατά τον σχεδιασμό των πατωμάτων αποτελεί η όσο το δυνατόν απλούστευση στην κατασκευή και ο περιορισμός στο ύψος.

### 1.5.1 Τα είδη των πατωμάτων

Με βάση τα υλικά κατασκευής τους και τη γενικότερη μορφή τους, διακρίνουμε δύο τύπους πατωμάτων. Αρχικά έχουμε τα δάπεδα εξ ολοκλήρου με μεταλλικά μέρη και τα δάπεδα μονάχα με φορείς μεταλλικά στοιχεία.

Τα δάπεδα τα οποία είναι εξ ολοκλήρου με μεταλλικά μέρη αποτελούν ένα συνδυασμό φερουσών κλασικών διατομών (θερμής έλασης) ή λεπτότοιχων (ψυχρής έλασης) και επίπεδων λαμαρινών (διατρητών, πλήρων ή αδρής επιφάνειας). Η σύνδεση των στοιχείων μπορεί να πραγματοποιηθεί με συγκόλληση ή με μηχανικά μέσα σύνδεσης (με κοχλίες ειδικής βυθισμένης κεφαλής).

Τα δάπεδα με φορείς μεταλλικά στοιχεία έχουν την επιφάνεια κυκλοφορίας κατασκευασμένη από άλλο υλικό. Επιπλέον, είναι δυνατόν να εμφανίζεται σαν παραλλαγή της πρώτης κατηγορίας, με τις επίπεδες λαμαρίνες να αντικαθίστανται από σανίδες ή κοντραπλακέ ή γραδελλάδες, αλλά σε γενικότερες γραμμές να είναι διαφορετικής φιλοσοφίας κατασκευή. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα σύμμικτα δάπεδα, κατά την

κατασκευή των οποίων φύλλα τραπεζοειδούς λαμαρίνας χρησιμεύουν σαν ξυλότυπος διά την έγχυση του σκυροδέματος.

### 1.5.2 Παραμορφώσεις – βέλη στα πατώματα

Οι παραμορφώσεις πρέπει να περιορίζονται στο βαθμό που δεν επηρεάζουν την εμφάνιση και τη λειτουργικότητα του έργου (στην προκειμένη περίπτωση του πατώματος) ή δεν προκαλούν βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία. Τα του φορέα υπολογίζονται, σύμφωνα με τον κανονισμό, με βάση την ελαστική ανάλυση.Ο υπολογισμός των βελών του φορέα πραγματοποιείται στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας ως εξής :

- Βέλος λόγω συνολικού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{ser} * L^4}{184{,}60 * E * I_g} \tag{1.1}$$

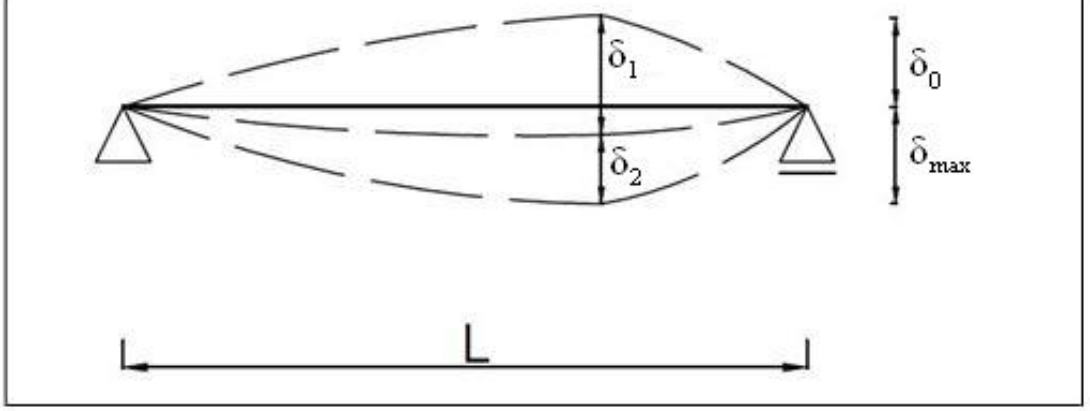
- Βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου :

$$\delta_2 = \frac{q_{2,ser} * L^4}{184{,}60 * E * I_g} \tag{1.2}$$

Όπου $L$ το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών, $E$ το μέτρο ελαστικότητας με $E = 21000\ {}^{kN}/_{cm^2}$ , $q_{ser}$ είναι το συνολικό φορτίο που ασκείται στο φορέα χωρίς συντελεστές ασφαλείας, $q_{2,ser}$ είναι το μεταβλητό (κινητό) φορτίο που ασκείται στο φορέα χωρίς συντελεστές ασφαλείας.

Πίνακας 1.2 : Όρια βέλους λειτουργικότητας για κατασκευές δαπέδων .

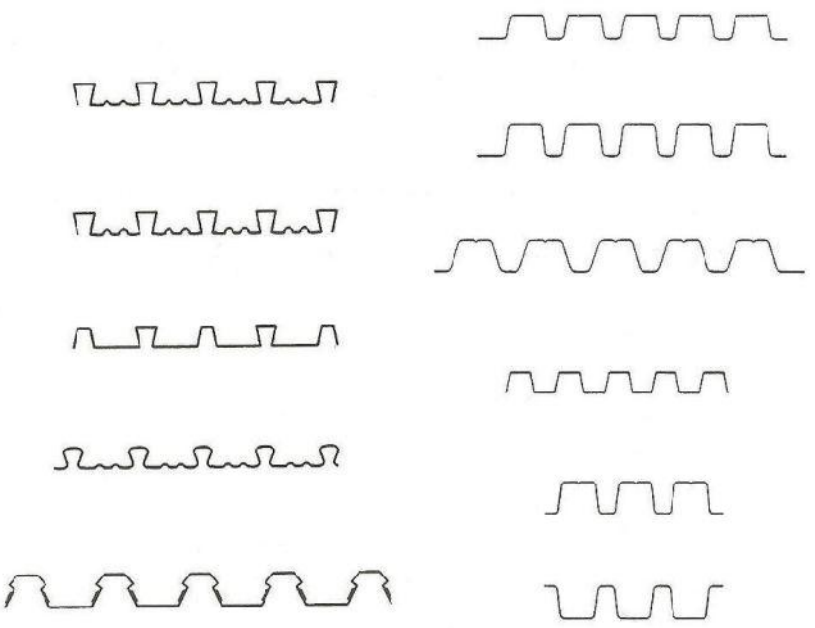
| Συνθήκες | Όρια | |
|---|---|---|
| | $\delta_{max}$ | $\delta_2$ |
| Στέγες γενικώς | L/200 | L/250 |
| Πατώματα γενικώς | L/250 | L/300 |
| Πατώματα με φυτευτά υποστυλώματα | L/250 | L/300 |
| Όταν η $\delta_{max}$ επηρεάζει την εμφάνιση | L/250 | — |



Στον πίνακα 1.2 καταγράφονται τα συνιστώμενα επιτρεπόμενα βέλη που αφορούν κατασκευές πατωμάτων.

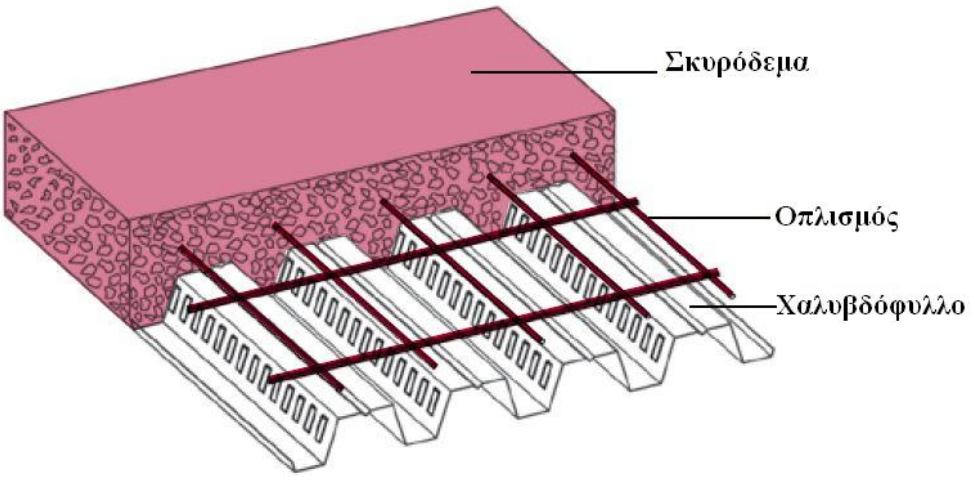
### 1.5.3 Η χρήση των τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων

Τα χαλυβδόφυλλα αποτελούν ένα από τα βασικότερα συστατικά στοιχεία των πατωμάτων, κατασκευασμένων από μεταλλικά μέρη. Τα χαλυβδόφυλλα προέρχονται από την εν ψυχρώ έλαση ταινιών χάλυβα, των λεγόμενων coils. Η διαδικασία παραγωγής τους αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο. Στην πρώτη εμφάνισή τους είχαν κυματοειδή μορφή, ενώ αργότερα κατασκευάστηκαν και σε τραπεζοειδή μορφή. Τα τραπεζοειδής χαλυβδόφυλλα χρησιμοποιούνται περισσότερο από ότι τα κυματοειδή στην δημιουργία μεταλλικών κατασκευών. Η παραγωγή στα πρώτα χρόνια δημιουργίας τους ήσαν περιορισμένη, όμως από το 1952 άρχισε μία σταδιακή αύξηση της παραγωγής τους σε πολλές χώρες. Η εξέλιξη αυτή προερχόταν και από την ολοένα και μεγαλύτερη κατασκευή μεταλλικών κτιρίων. Η πρόοδος αυτή οδήγησε στη δημιουργία νέων διατομών, ώστε σήμερα να υπάρχει και να διατίθενται στο εμπόριο, πλήθος και μεγάλη ποικιλία λαμαρινών επικάλυψης ή δαπέδων.



Σχήμα 1.14: Είδη χαλυβδοφύλλων επικαλύψεως του εμπορίου .

Τα πάχη τους, όπως του συνόλου των λεπτότοιχων διατομών, κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0.50 και 0.20mm. Για την προστασία τους έναντι της φθοράς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προβλέπεται γαλβανισμός των επιφανειών τους. Το πάχος της στρώσης γαλβανισμού ανά πλευρά είναι περίπου ίσο με 0.02mm. Η παραγωγή τους είναι συνεχής, όμως κόβονται για λόγους μεταφοράς σε κατάλληλα μήκη. Τα ύψη των χαλυβδοφύλλων εξαρτώνται από την κατασκευή για την οποία θα χρησιμοποιηθούν και κυμαίνονται μεταξύ 39 και 200mm. Μία άξια αφοράς εξέλιξη στον σχεδιασμό των φύλλων επικαλύψεως, υπήρξε η εισαγωγή και κατασκευή φύλλων με ενδιάμεσα ενισχυτικά ακαμψίας, που οδήγησε στην σημαντική βελτίωση στις αντοχές του. Κατά κανόνα, φύλλα με ενδιάμεσα ενισχυτικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σύμμικτων πλακών.




Σχήμα 1.15: Χρήση του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου στα σύμμικτα δάπεδα .

Η τοποθέτηση των χαλυβδοφύλλων πραγματοποιείται κάθετα στις δοκούς και για μεγάλα ανοίγματα μπορεί να προβλεφθεί προσωρινή στήριξη στο μέσο ή σε όποια απόσταση κρίνει ο μηχανικός, σκόπιμο.

# 2 Διαδικασίες ελέγχου λεπτότοιχων μεταλλικών διατομών

## 2.1 Εισαγωγή

Τα λεπτότοιχα ελάσματα ψυχράς ελάσεως ή μορφώσεως, έχουν ένα βασικό χαρακτηριστικό που τα ξεχωρίζει από τα αντίστοιχα θερμής ελάσεως σιδηρά ελάσματα. Το πάχος τους είναι εξαιρετικά μικρότερο από το πλάτος τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τις λεπτότοιχες διατομές τις συναντάμε με πάχη μικρότερα από 3.00mm. Τα πάχη αυτά, καθιστούν τα ελάσματα εξαιρετικά εύκαμπτα, δίνοντας τη δυνατότητα στην παραμικρή καταπόνηση να προσδίδει σημαντικές παραμορφώσεις. Για την πρόληψη των προβλημάτων που θα παρουσιάσουν οι διατομές ψυχράς ελάσεως θα πρέπει να ελέγχουν ένα σύνολο παραγόντων, όπως :

- Ο λυγισμός εντός του πεδίου μεγάλων εκτροπών.
- Η επίδραση του τοπικού λυγισμού στην συνολική ευστάθεια της κατασκευής.
- Η συγκέντρωση τάσεων της διατομής στις στηρίξεις των πλατέων πελμάτων της διατομής (παραμόρφωση λόγω διάτμησης).
- Η ύπαρξη συνδυασμένου στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.
- Η επίδραση των παραμενουσών τάσεων στην διατομή.

Τα περισσότερα εκ των προβλημάτων που έχουν να αντιμετωπίσουν οι λεπτότοιχες διατομές αντιμετωπίζονται με τη μόρφωση ενισχυτικών ακαμψίας είτε στα πέλματα είτε στους κορμούς των διατομών.

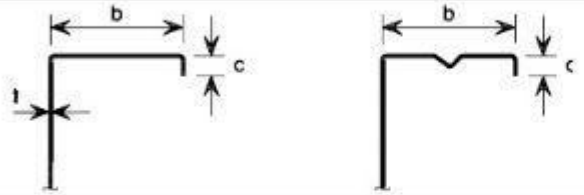
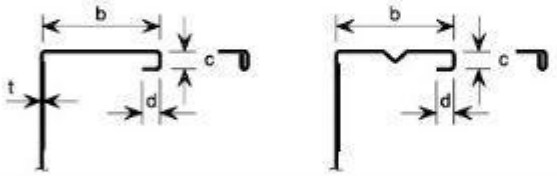
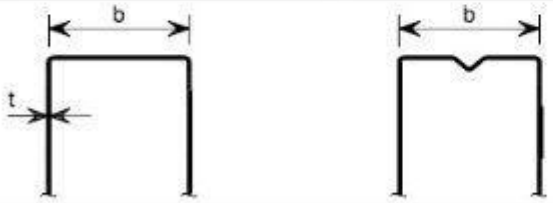
### 2.1.1 Γεωμετρικές συνθήκες για τη χρήση λεπτότοιχων διατομών

Για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν λεπτότοιχες διατομές ψυχράς ελάσεως ή μορφώσεως θα πρέπει, κατά τον σχεδιασμό, να πληρούν κάποιες γεωμετρικές προϋποθέσεις.

Στόχος αυτών των γεωμετρικών συνθηκών είναι οι διατομές να επιτύχουν επαρκή ακαμψία και να προφυλαχθούν από φαινόμενα λυγισμού, ώστε να μην τεθεί σε κίνδυνο η ίδια η κατασκευή.

Οι μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για τις σημαντικότερες λεπτότοιχες διατομές βρίσκονται στο παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2.1: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος.

| Στοιχείο της διατομής | Μέγιστη τιμή |
|---|---|
|  | $b/t \leq 50$ |
|  | $b/t \leq 60$<br>$c/t \leq 50$ |
|  | $b/t \leq 90$<br>$c/t \leq 60$<br>$d/t \leq 50$ |
|  | $b/t \leq 500$ |
|  | $45° \leq \phi \leq 90°$<br>$h/t \leq 500 \sin\phi$ |

Για διατομές εκτός γεωμετρίας του παραπάνω πίνακα, ο σχεδιασμός πραγματοποιείται με δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο. Οι διαστάσεις τους, όμως πρέπει να βρίσκονται στα ακόλουθα όρια :

$$0{,}2 \leq \frac{c}{b} \leq 0{,}6 \tag{2.1}$$

$$0{,}1 \leq \frac{d}{b} \leq 0{,}3 \tag{2.2}$$

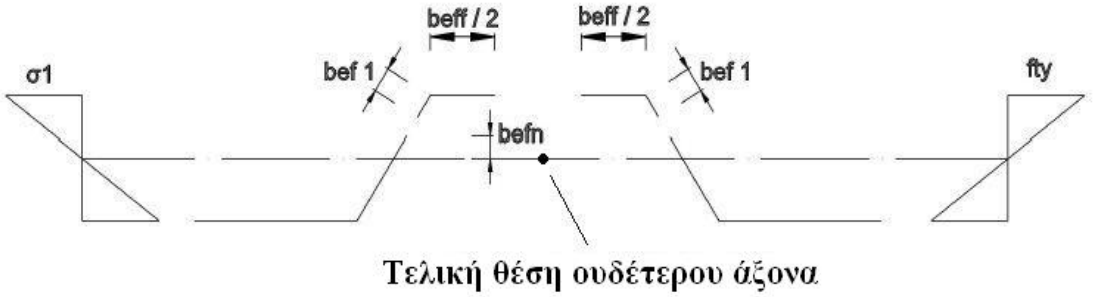
## 2.2 Τοπικός λυγισμός λεπτότοιχων διατομών

Το φαινόμενο του τοπικού λυγισμού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι σύνηθες στις κατασκευές με μέλη λεπτότοιχες διατομές. Κατά την μελέτη του φαινομένου του τοπικού λυγισμού προσδιορίζονται τα ενεργά πλάτη της διατομής, ώστε τελικώς να υπολογιστεί η λεγόμενη ενεργός διατομή. Το πρώτο βήμα όταν αναζητούμε τη φέρουσα ικανότητα, είναι να προσδιορίσουμε το ενεργό πλάτος των θλιβόμενων στοιχείων, βασιζόμενοι στην

κατανομή των τάσεων. Αυτό συμβαίνει διότι το ενεργό πλάτος της ίδιας διατομής, διαφέρει ανάλογα με την καταπόνηση στην οποία υπόκειται.

Εν συνεχεία, γίνεται υπολογισμός των γεωμετρικών ιδιοτήτων της ενεργούς διατομής λαμβάνοντας υπόψη την μετατόπιση του ουδέτερου άξονα, εξαιτίας των ανενεργών τμημάτων της διατομής.

Η αντοχή των ενεργών τμημάτων της λεπτότοιχης διατομής, έχει όριο την τάση διαρροής σε κάθε τμήμα της. Αυτό συμβαίνει γιατί πραγματοποιείται έλεγχος με ελαστική ανάλυση.




Σχήμα 2.1: Διατομή με ελαττωμένο θλιβόμενο πέλμα και με πλήρως ενεργό κορμό.

### 2.2.1 Τοπικός λυγισμός επιπέδων στοιχείων χωρίς ενισχύσεις

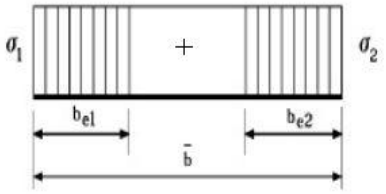
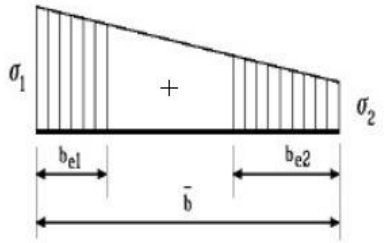
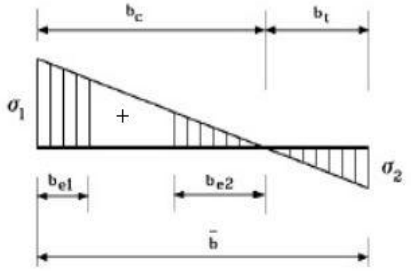
Η ενεργός επιφάνεια της θλιβόμενης ζώνης ενός ελάσματος με πλήρη επιφάνεια διατομής $A_c$ πρέπει να λαμβάνεται από :

$$A_{c,eff} = \rho * A_c \tag{2.3}$$

Όπου $\rho$ είναι ο μειωτικός συντελεστής για την κύρτωση.

Για τον υπολογισμό του μειωτικού συντελεστή κύρτωσης λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω πίνακες, οι οποίοι αφορούν εσωτερικά θλιβόμενα και εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία και υπολογίζουν τον συντελεστή κύρτωσης και τα ενεργά πλάτη.

Πίνακας 2.2: Εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία.

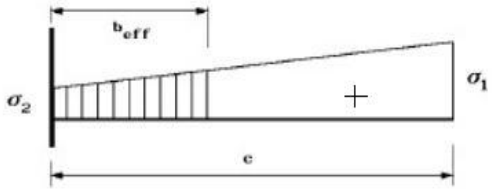
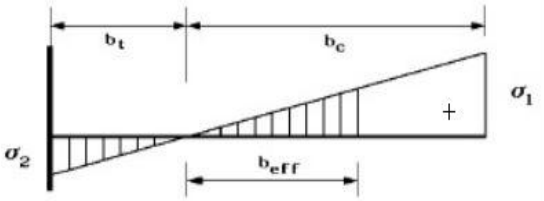
| Κατανομή τάσεων (η θλίψη θετική) | Ενεργό πλάτος του θλιβόμενου τμήματος του στοιχείου |
|---|---|
|  | Ψ = 1 :<br>$b_{eff} = \rho \bar{b}$<br>$b_{e1} = 0{,}5\, b_{eff}$<br>$b_{e2} = 0{,}5\, b_{eff}$ |
|  | 1 > Ψ ≥ 0 :<br>$b_{eff} = \rho \bar{b}$<br>$b_{e1} = \frac{2 b_{eff}}{5 - \psi}$<br>$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$ |
|  | Ψ < 0 :<br>$b_{eff} = \rho b_c = (\rho \bar{b})/(1 - \psi)$<br>$b_{e1} = 0{,}4\, b_{eff}$<br>$b_{e2} = 0{,}6\, b_{eff}$ |

| $\Psi = \sigma_2/\sigma_1$ | 1 | $1 > \psi > 0$ | 0 | $0 > \psi > -1$ | $-1$ | $-1 > \psi > -2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Συντελεστής κύρτωσης $k_\sigma$ | 4,0 | $\frac{8{,}2}{1{,}05 + \psi}$ | 7,81 | $7{,}81 - 6{,}29\,\psi + 9{,}78\,\psi^2$ | 23,9 | $5{,}98\,(1 - \psi)^2$ |

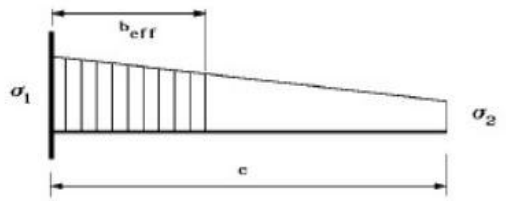
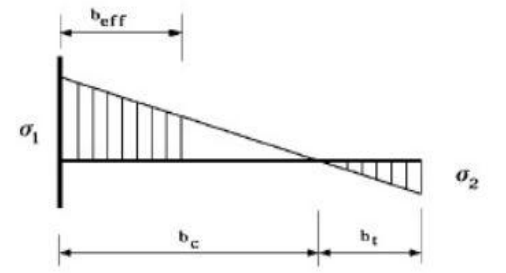
Εναλλακτικά εάν ισχύει : $1 \geq \psi \geq -1$ :

Τότε ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίζεται ως : $k_\sigma = \frac{16}{\left[(1+\psi)^2 + 0{,}112\,(1-\psi)^2\right]^{0{,}5} + (1+\psi)}$

Πίνακας 2.3: Προεξέχοντα θλιβόμενα στοιχεία.

| Κατανομή τάσεων (η θλίψη θετική) | Ενεργό πλάτος beff του θλιβόμενου τμήματος του στοιχείου |
|---|---|
|  | 1 > Ψ ≥ 0 :<br>$b_{eff} = \rho c$ |
|  | Ψ < 0 :<br>$b_{eff} = \rho b_c = \rho c/(1-\psi)$ |

| $\Psi = \sigma_2/\sigma_1$ | 1 | 0 | −1 | $1 \geq \psi \geq -1$ |
|---|---|---|---|---|
| Συντελεστής κύρτωσης $k_\sigma$ | 0,43 | 0,57 | 0,85 | $0,57 - 0,21\ \psi + 0,07\ \psi^2$ |

| Κατανομή τάσεων (η θλίψη θετική) | Ενεργό πλάτος beff του θλιβόμενου τμήματος του στοιχείου |
|---|---|
|  | 1 > Ψ ≥ 0 :<br>$b_{eff} = \rho c$ |
|  | Ψ < 0 :<br>$b_{eff} = \rho b_c = \rho c/(1-\psi)$ |

| $\Psi = \sigma_2/\sigma_1$ | 1 | $1 > \psi > 0$ | 0 | $0 > \psi > -1$ | −1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Συντελεστής κύρτωσης $k_\sigma$ | 0,43 | $\frac{0,578}{\psi + 0,34}$ | 1,70 | $1,7 - 5\ \psi + 17,1\ \psi^2$ | 23,8 |

Η κρίσιμος τάση λυγισμού $\sigma_{cr}$ για μία πλάκα, δίδεται από τον τύπο :

$$\sigma_{cr} = \left(\frac{\pi * t}{b_\rho}\right)^2 * \frac{E * K_\sigma}{12 * (1 - \nu^2)} \quad (2.4)$$

Όπου $b_p$ το θεωρητικό πλάτος, $t$ το πάχος, $\nu$ το μέτρο Poisson και $K_\sigma$ ο αντίστοιχος συντελεστής κύρτωσης υπολογισμένος από τους παραπάνω πίνακες.

Ορίζοντας όπου $\bar{\lambda}_\rho = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}}$ εύκολα υπολογίζουμε ότι :

$$\bar{\lambda}_\rho = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_p}{t} * \sqrt{\frac{12 * (1-\nu^2) * f_y}{\pi^2 * E * K_\sigma}} \cong 1{,}052 * \frac{b_p}{t} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b_p}{t}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} \quad (2.5)$$

Επομένως, ο μειωτικός συντελεστής για την κύρτωση λαμβάνεται ως εξής :

- Για εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία :

$$\rho = 1{,}00 \qquad \text{για } \bar{\lambda}_\rho \leq 0{,}673 \quad (2.6a)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_\rho - 0{,}055 * (3+\psi)}{\bar{\lambda}_\rho^{\,2}} \leq 1{,}00 \quad \text{για : } \bar{\lambda}_\rho > 0{,}673 \text{ ,όπου } (3+\psi) \geq 0 \quad (2.6b)$$

- Για εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία :

$$\rho = 1{,}00 \qquad \text{για } \bar{\lambda}_\rho \leq 0{,}748 \quad (2.7a)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_\rho - 0{,}188}{\bar{\lambda}_\rho^{\,2}} \leq 1{,}00 \qquad \text{για } \bar{\lambda}_\rho > 0{,}748 \quad (2.7b)$$

Σε περίπτωση η $\sigma_{max}$ είναι η μεγαλυτέρα θλιπτική τάση, υπό την επίδραση των φορτίων λειτουργίας, και επιπλέον ισχύει ότι $\sigma_{max} < \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ τότε ισχύει :

$$\bar{\lambda}_{\rho,red} = \bar{\lambda}_\rho * \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}} \quad (2.8)$$

Όπου $\sigma_{com,Ed}$ είναι η μέγιστη θλιπτική τάση σχεδιασμού στο στοιχείο η οποία προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας την ενεργό επιφάνεια της διατομής εξαιτίας όλων των ταυτοχρόνων δράσεων.

Για την παραπάνω περίπτωση ισχύουν για τον μειωτικό συντελεστή κύρτωσης τα εξής :

- Για εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία :

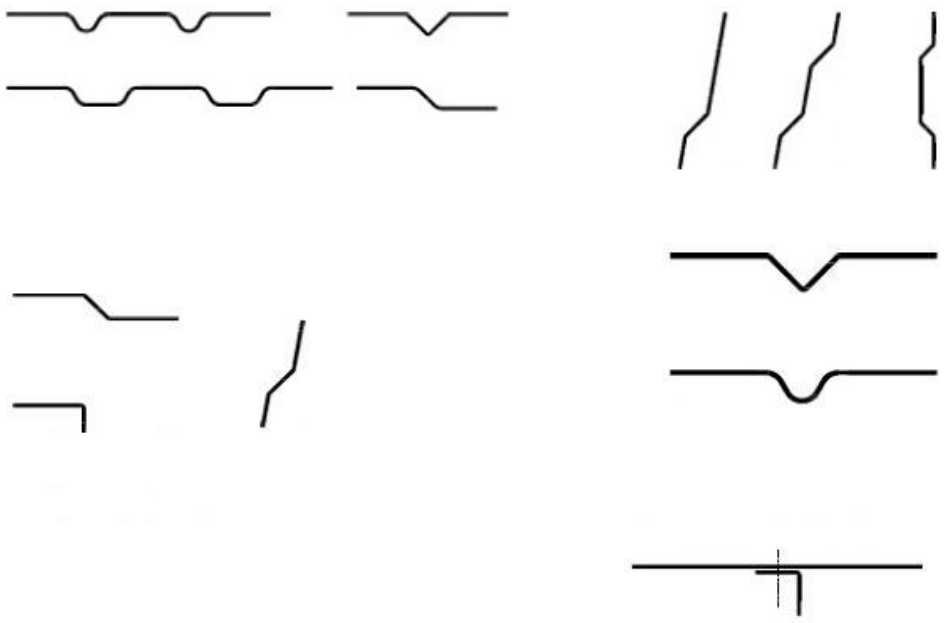
$$\begin{cases} \rho = 1{,}00 & \text{για } \bar{\lambda}_{\rho,red} \le 0{,}673 \\ \rho = \dfrac{\bar{\lambda}_\rho - 0{,}055\,(3+\psi)/\bar{\lambda}_{\rho,red}}{\bar{\lambda}_{\rho,red}} + 0{,}18\dfrac{(\bar{\lambda}_\rho - \bar{\lambda}_{\rho,red})}{(\bar{\lambda}_\rho - 0{,}60)} \le 1{,}00 & \\ \text{για } \bar{\lambda}_{\rho,red} > 0{,}673 \text{ ,όπου } (3+\psi) \ge 0 & \end{cases} \quad (2.9)$$

- Για εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία :

$$\begin{cases} \rho = 1{,}00 & \text{για } \bar{\lambda}_{\rho,red} \le 0{,}748 \\ \rho = \dfrac{\bar{\lambda}_\rho - 0{,}188/\bar{\lambda}_{\rho,red}}{\bar{\lambda}_{\rho,red}} + 0{,}18\dfrac{(\bar{\lambda}_\rho - \bar{\lambda}_{\rho,red})}{(\bar{\lambda}_\rho - 0{,}60)} \le 1{,}00 & \\ \text{για } \bar{\lambda}_{\rho,red} > 0{,}748 & \end{cases} \quad (2.10)$$

### 2.2.2 Τοπικός λυγισμός επίπεδων στοιχείων με ενισχύσεις

Για να αυξηθεί η ακαμψία των επιπέδων πλατεών στοιχείων χρησιμοποιούνται ενισχύσεις, οι οποίες θα βρίσκονται στα άκρα του ή θα είναι ενδιάμεσες. Οι ενισχύσεις πραγματοποιούνται είτε με αναδίπλωση είτε με πτύχωση, ώστε να μπορούν να μελετηθούν σαν ισοδύναμοι δοκοί.



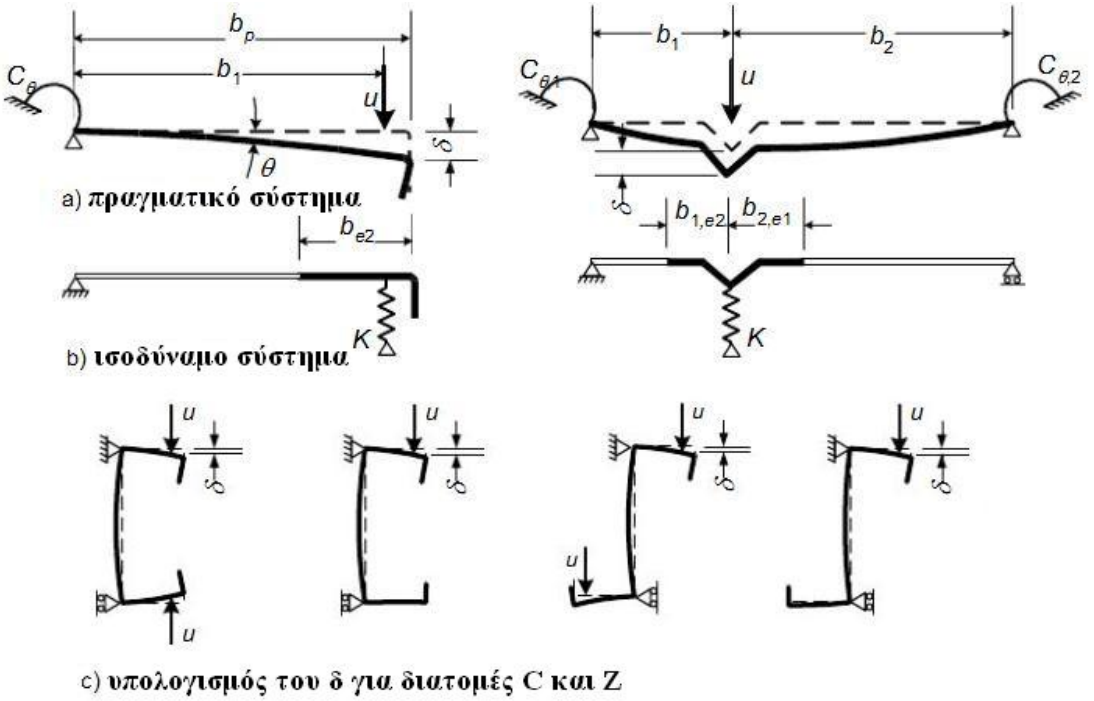
Σχήμα 2.2: Ενισχύσεις επίπεδων στοιχείων .

Κατά τον σχεδιασμό γίνεται η παραδοχή, ότι τα ενισχυτικά ακαμψίας συμπεριφέρονται σαν θλιβόμενο μέλος με συνεχή παρεμπόδιση, που εξαρτάται από προς συνοριακές συνθήκες. Εάν η ενίσχυση διαθέτει επαρκή ακαμψία, τότε μπορεί να θεωρηθεί σαν άκαμπτη στήριξη για το προσκείμενο επίπεδο στοιχείο.

Η δυσκαμψία του ισοδύναμου προς την ενίσχυση ελατηρίου, καθορίζεται ως εξής :

$$K = \frac{u}{\delta} \tag{2.11}$$

Όπου $K$ η σταθερά του ισοδύναμου ελατηρίου, $u$ το μοναδιαίο ανά μονάδα μήκους φορτίο και $\delta$ η μετακίνηση της ενισχύσεως λόγω του φορτίου.




Σχήμα 2.3: Καθορισμός της ακαμψίας του ελατηρίου .

Επειδή αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η κατασκευή δαπέδου από τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο, θα αναλυθούν μονάχα ο τοπικός λυγισμός χαλυβδοφύλλων με ενισχύσεις και όχι γενικότερα λεπτότοιχων διατομών.

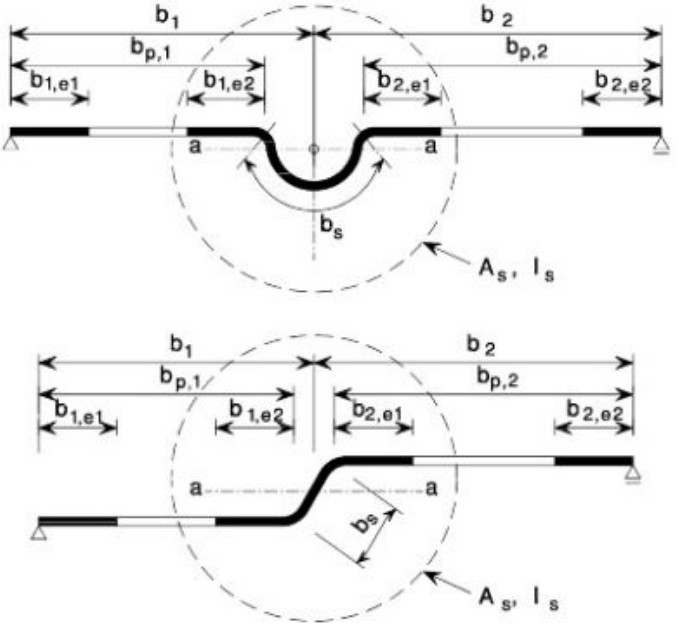
### 2.2.3 Τοπικός λυγισμός χαλυβδοφύλλων με ενισχύσεις

Οι ενισχύσεις στα τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα μπορούν να τοποθετηθούν στα πέλματα ή στο κορμό. Εκτός της μεμονωμένης εξετάσεως των ενισχύσεων κορμού ή πελμάτων, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και η αλληλεπίδρασή τους στη συνολική λειτουργία των τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων.

#### 2.2.3.1 Ενισχύσεις στα πέλματα

Ο κανονισμός προβλέπει ότι ο αριθμός των ενισχύσεων στα πέλματα μπορεί να είναι μέχρι τρεις, από τις οποίες μονάχα οι δύο μπορούν να προσφέρουν στην αύξηση της ακαμψίας του πέλματος. Ο υπολογισμός της ενεργού διατομής παρουσιάζεται παρακάτω.

Αρχικά, θεωρούνται ότι τα επίπεδα στοιχεία $b_{p_1}$ και $b_{p_2}$ είναι διπλά στηριζόμενα. Τότε, με $\sigma_{max} = f_y/\gamma_M$ υπολογίζονται οι αρχικές τιμές των $b_{1,e_2}$ , $b_{2,e_2}$.

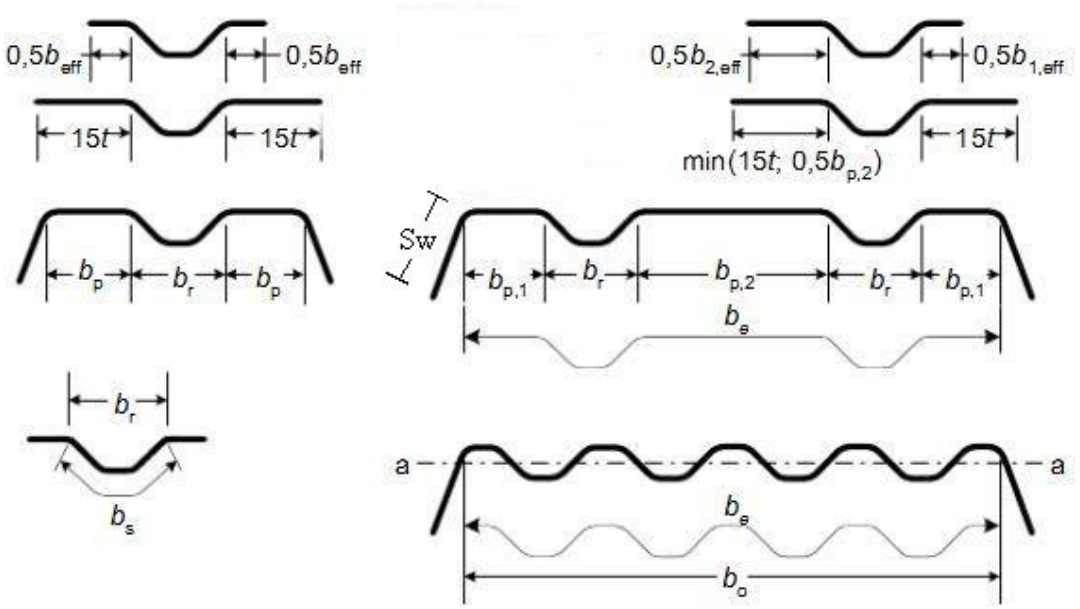



Σχήμα 2.4: Ενδιάμεσες ενισχύσεις .

Εν συνεχεία, υπολογίζεται το εμβαδόν $A_s$ της ενεργού διατομής της ενδιαμέσου ενισχύσεως από τον τύπο :

$$A_s = t * (b_{1,e_2} + b_{1,e_1} + b_s) \tag{2.12}$$

Όπου $b_s$ από το σχήμα.




Σχήμα 2.5: Θλιβόμενο πέλμα με ενισχύσεις .

Για τον υπολογισμό της ελαστικής κρισίμου τάσεως, διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις :

- Ύπαρξη μίας κεντρικής ενίσχυσης :

$$\sigma_{cr} = \frac{4{,}2 * K_w * E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s * t^3}{4 * b_p^2 * (2 * b_p + 3 * b_s)}} \tag{2.13}$$

Όπου $b_p$ , $b_s$ από το σχήμα 2.5, $K_w$ συντελεστής που λαμβάνει υπ΄ όψιν την επιρροή του κορμού, $A_s$ το εμβαδόν της ενεργού διατομής της ενδιαμέσου ενισχύσεως και $I_s$ η ενεργός ροπή αδρανείας με βάση το ενεργό εμβαδό, περί τον άξονα α-α (σχήμα 2.4).

- Ύπαρξη δύο συμμετρικών ενισχύσεων :

$$\sigma_{cr} = \frac{4{,}2 * K_w * E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s * t^3}{8 * b_1^2 * (3 * b_c + 4 * b_1)}} \tag{2.14}$$

Όπου $b_e = 2 * b_{p_1} + b_{p_2} + 2 * b_{p_s}$ και $b_1 = b_{p_1} + 0{,}5 * b_r$

Ανάλογα με τις ενισχύσεις που υπάρχουν στα πέλματα, υπολογίζεται το $\sigma_{cr}$ και εν συνεχεία ο μειωτικός συντελεστής Χ. Ο μειωτικός συντελεστής για αντοχή της ενισχύσεως σε καμπτικό λυγισμό, θα λαμβάνεται από την καμπύλη λυγισμού $\alpha_0$ με συντελεστή ατελειών α=0,13 και για ανηγμένη λυγηρότητα :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{max}}} \tag{2.15}$$

Ο υπολογισμός του συντελεστή $K_w$ που λαμβάνει υπ΄ όψιν την επιρροή του κορμού υπολογίζεται ως εξής :

$$K_w = K_{w_o} \qquad \text{για} \quad \frac{l_b}{S_w} < 2{,}00 \tag{2.16a}$$

$$K_w = K_{w_e} - (K_{w_e} - 1)\left[\frac{2 * l_b}{S_w} - \left(\frac{l_b}{S_w}\right)^2\right] \qquad \text{για} \quad \frac{l_b}{S_w} < 2{,}00 \tag{2.16b}$$

Όπου $S_w$ κατά το σχήμα 2.5 και επιπλέον :

- Ύπαρξη κεντρικής ενίσχυσης :

$$l_b = 3{,}07 * \sqrt[4]{\frac{I_s * b_p^2 * (2 * b_p + 3 * b_s)}{t^3}} \tag{2.17}$$

$$K_{w_o} = \sqrt{\frac{S_w + 2 * b_d}{S_w + 0{,}5 * b_d}} \quad , \quad b_d = 2 * b_p + b_s \tag{2.18}$$

- Ύπαρξη δύο ενδιαμέσων ενισχύσεων :

$$l_b = 3{,}65 * \sqrt[4]{\frac{I_s * b_1^2 * (3 * b_e + 4 * b_1)}{t^3}} \tag{2.19}$$

$$K_{w_o} = \sqrt{\frac{(2 * b_e + S_w)(3 * b_e - 4 * b_1)}{b_1 * (4 * b_e - 6 * b_1) + S_w * (3 * b_e - 4 * b_1)}} \tag{2.20}$$

Επιπλέον, υπενθυμίζεται από τον κανονισμό ότι το απομειωμένο εμβαδόν $A_{S,red}$ , αντιπροσωπεύεται από το απομειωμένο πάχος $t_{red} = X*t$ για όλα τα στοιχεία του $A_s$.

### 2.2.3.2 Ενισχύσεις στους κορμούς

Σύμφωνα με τον κανονισμό για τα ενεργά εμβαδά των κορμών των τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων ισχύουν τα εξής :

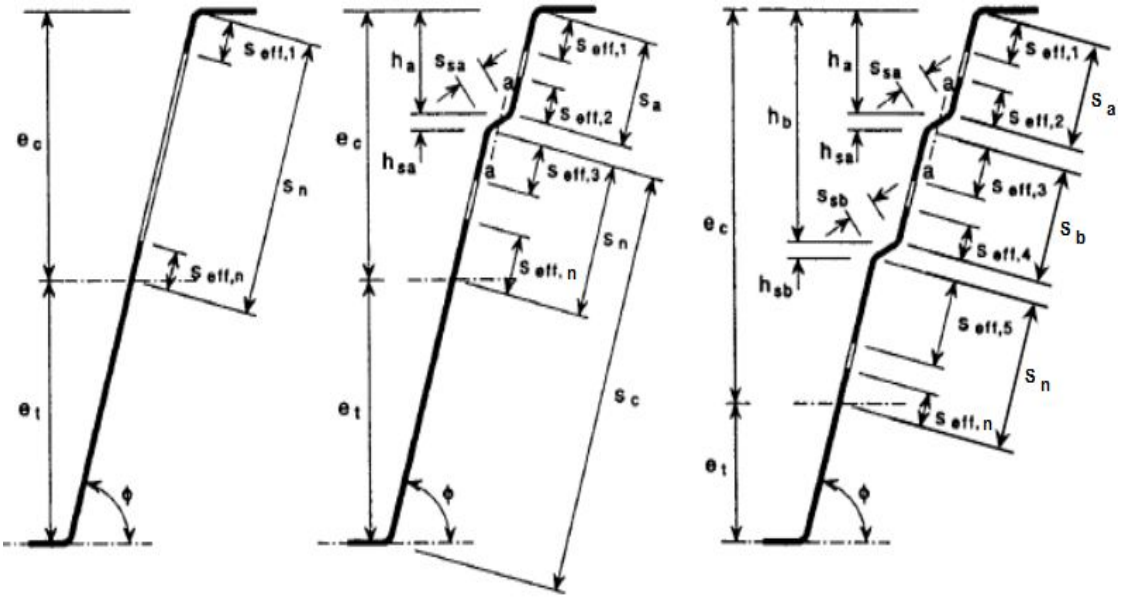
- Ύπαρξη απλής ενίσχυσης στον κορμό :

$$A_{Sa} = t * (S_{eff,2} + S_{eff,3} + S_{Sa}) \tag{2.21}$$

- Ύπαρξη δεύτερης ενίσχυσης στον κορμό :

$$A_{Sa} = t * (S_{eff,4} + S_{eff,5} + S_{Sb}) \tag{2.22}$$

Όπου τα $S_{eff,2}$ , $S_{eff,3}$ , $S_{Sa}$ , $S_{eff,4}$ , $S_{eff,5}$ , $S_{Sb}$ εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα.




Σχήμα 2.6: Ενεργές διατομές κορμών τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων .

Θεωρούμε μία βασική τιμή εκκινήσεως του περί το άνω πλέγμα ενεργού τμήματος :

$$S_{eff,0} = 0{,}76 * t * \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} * \sigma_{com,Ed}}} \tag{2.23}$$

Όπου $\sigma_{com,Ed}$ είναι η τάση στο θλιβόμενο πέλμα για την πλήρη αντοχή της διατομής.

Σε περίπτωση που θεωρήσουμε ότι ο κορμός δεν είναι πλήρως ενεργός, τότε οι διαστάσεις $S_{eff,1}$ $\acute{\epsilon}\omega\varsigma$ $S_{eff,v}$ υπολογίζονται από τις εξής σχέσεις :

$$\left.\begin{aligned}
S_{eff,1} &= S_{eff,0} \\
S_{eff,2} &= \left(1 + \frac{0{,}5 * h_a}{e_c}\right) * S_{eff,0} \\
S_{eff,3} &= \left(1 + \frac{0{,}5 * (h_a + h_{Sa})}{e_c}\right) * S_{eff,0} \\
S_{eff,4} &= \left(1 + \frac{0{,}5 * h_b}{e_c}\right) * S_{eff,0} \\
S_{eff,5} &= \left(1 + \frac{0{,}5 * (h_b + h_{Sb})}{e_c}\right) * S_{eff,0} \\
S_{eff,v} &= 1{,}5 * S_{eff,0}
\end{aligned}\right\} \tag{2.24}$$

Όπου τα $h_a$ , $h_{Sa}$ , $h_b$ , $h_{Sb}$ βρίσκονται στο σχήμα 2.6 και το $e_c$ , μπορεί να υπολογιστεί ως το κεντροβαρικό άξονα της πλήρους διατομής. Δηλαδή πλήρως ενεργός κορμός και ενεργές διατομές πελμάτων.

Για τα άνω υπολογισθέντα ενεργά τμήματα, γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι :

- Κορμός διατομής χαλυβδοφύλλου χωρίς ενισχύσεις :

Εάν $S_{eff,1} + S_{eff,2} \geq S_v$ τότε : (2.25)

$$S_{eff,1} = 0{,}4 * S_v$$
$$S_{eff,v} = 0{,}6 * S_v \quad (2.26)$$

- Κορμός ενισχυμένος :

α) Ύπαρξη μίας ενίσχυσης :

Εάν $S_{eff,1} + S_{eff,2} \geq S_a$ τότε : (2.27)

$$S_{eff,1} = \frac{S_a}{2{,}0 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}}$$
$$S_{eff,1} = \frac{S_a * \left(1 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}\right)}{2{,}0 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}} \quad (2.28)$$

Εάν $S_{eff,3} + S_{eff,4} \geq S_v = S_b$, όλο το $S_b$ είναι ενεργό οπότε ισχύει : (2.29)

$$S_{eff,3} = \frac{S_v * \left[1 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa})}{e_c}\right]}{2{,}5 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa})}{e_c}}$$
$$S_{eff,v} = \frac{1{,}5 * S_v}{2{,}5 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa})}{e_c}} \quad (2.30)$$

β) Ύπαρξη δύο ενισχύσεων :

Εάν $S_{eff,1} + S_{eff,2} \geq S_a$ όλο το $S_a$ ενεργό και άρα : (2.31)

$$S_{eff,1} = \frac{S_a}{2 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}}$$
$$S_{eff,1} = \frac{S_a * \left(1 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}\right)}{2 + 0{,}5 * \frac{h_a}{e_c}} \quad (2.32)$$

Εάν $S_{eff,3} + S_{eff,4} \geq S_b$, όλο το $S_b$ είναι ενεργό οπότε ισχύει : (2.33)

$$S_{eff,3} = \frac{S_b * \left[1 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa})}{e_c}\right]}{2{,}0 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa} + h_b)}{e_c}} \quad (2.34)$$

$$S_{eff,A} = \frac{S_b * \left[1 + 0{,}5 * \frac{h_b}{e_c}\right]}{2{,}0 + 0{,}5 * \frac{(h_a + h_{Sa} + h_b)}{e_c}}$$

Εάν $S_{eff,S} + S_{eff,N} \geq S_v$ , όλο το $S_v$ είναι ενεργό οπότε ισχύει : (2.35)

$$\left.\begin{aligned} S_{eff,S} &= \frac{S_v * \left[1 + 0{,}5 * \frac{(h_b + h_{Sb})}{e_c}\right]}{2{,}5 + 0{,}5 * \frac{(h_b + h_{Sb})}{e_c}} \\ S_{eff,N} &= \frac{1{,}5 * S_v}{2{,}5 + 0{,}5 * \frac{(h_b + h_{Sb})}{e_c}} \end{aligned}\right\} \quad (2.36)$$

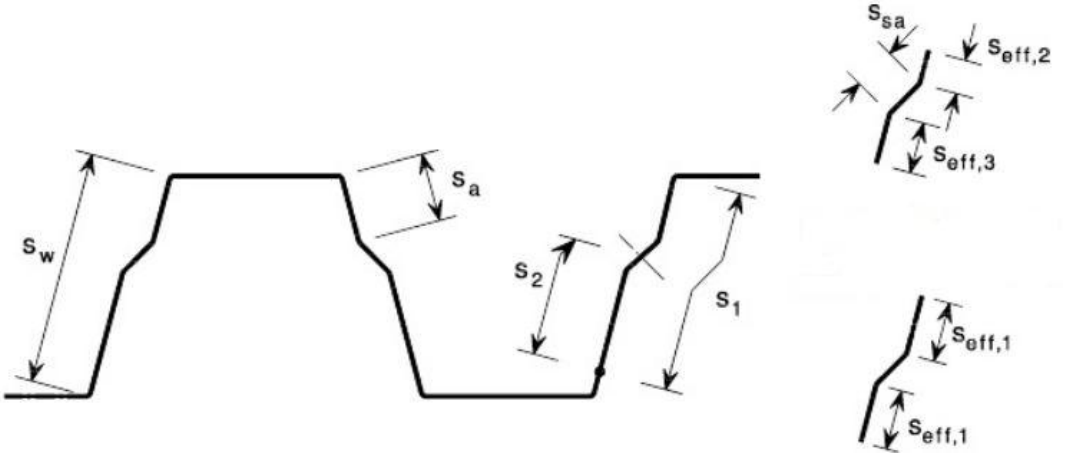
Η κρίσιμη ελαστική τάση λυγισμού $\sigma_{cr}$ υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\sigma_{cr,Sa} = \frac{1{,}05 * K_t * \sqrt{I_s * t^2 * S_1}}{A_{Sa} * S_2 * (S_1 - S_2)} \quad (2.37)$$

Όπου $S_2 = S_1 - S_a - S_{Sa}$ , για απλή ενίσχυση $S_1 = 0{,}9 * (S_a + S_{Sa} + S_c)$ και για δύο ενισχύσεις $S_2 = S_a + S_{Sa} + S_b + 0{,}5 * (S_{Sb} + S_c)$

Από την $\sigma_{cr,Sa}$ , μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής X. Το απομειωμένο εμβαδόν είναι :

$$A_{Sa,red} = \frac{X * A_{Sa}}{1 - \left(\frac{h_a + 0{,}5 * h_{Sa}}{e_c}\right)} \leq A_{Sa} \quad (2.38)$$




Σχήμα 2.7: Ενισχύσεις κορμού για τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα .

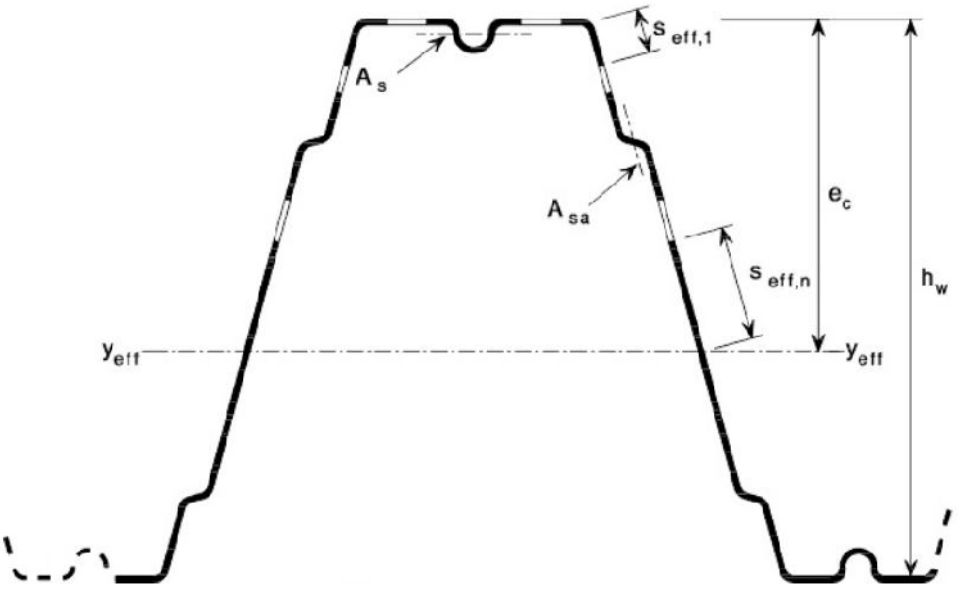
2.2.3.3 Ενισχύσεις στα πέλματα και στους κορμούς

Στην περίπτωση που υπάρχουν ενισχύσεις τόσο στα πέλματα όσο και στο κορμό της διατομής, τότε λαμβάνεται υπ΄ όψιν η αλληλεπίδραση μεταξύ του καμπτικού λυγισμού των ενισχύσεων του πέλματος και του κορμού.

Η κρίσιμη ελαστική τάση λυγισμού λαμβάνεται ως εξής :

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,S}}{\sqrt[4]{1+\left[\beta_s * \frac{\sigma_{cr,S}}{\sigma_{cr,Sa}}\right]^4}} \tag{2.39}$$

Όπου $\sigma_{cr,S}$ η κρίσιμος ελαστική τάση για ενδιάμεση ενίσχυση πέλματος, $\sigma_{cr,Sa}$ η κρίσιμος τάση για ενίσχυση κορμού, $\beta_s = 1{,}0$ για δυνάμεις που προκαλούν ομοιόμορφη θλίψη και $\beta_s = 1{,}0 - (h_a + 0{,}5 * h_{ha})/e_c$




Σχήμα 2.8: Ενισχύσεις σε πέλματα και κορμούς για τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα.

## 2.2.4 Πρόσθετοι έλεγχοι

2.2.4.1 Η επιρροή της διατμητικής υστέρησης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα οι διατομές ψυχρής ελάσεως πρέπει να ελέγχουν ένα σύνολο από παράγοντες. Ο κυριότερος έλεγχος που πρέπει να πραγματοποιηθεί είναι της παραμορφώσεως λόγω διάτμησης.

Σύμφωνα με τον κανονισμό στα πλατέα πέλματα, στα οποία ισχύει $b \geq L_m/20$ η κατανομή των ορθών τάσεων που οφείλονται σε αξονική δύναμη και ροπές κάμψεως, επηρεάζεται από τις παραμορφώσεις λόγω διάτμησης. Οι παραμορφώσεις λόγω διατμήσεως είναι μεγαλύτερες στις στηρίξεις του πλατέως ελάσματος.

Η ενεργός περιοχή συμπίπτει και υπολογίζεται όπως και στον έλεγχο τοπικού λυγισμού που παρουσιάστηκε σε παραπάνω κεφάλαιο.

Η επιρροή της διατμητικής υστερήσεως ελέγχεται στην περίπτωση κατά την οποία το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών είναι μικρότερο του γινομένου *20*b*. Το *b* είναι το πλάτος του πέλματος που μετέχει στην διατμητική υστέρηση.

Το ενεργό πλάτος για την περίπτωση της διατμητικής υστερήσεως υπό ελαστικές συνθήκες θα πρέπει να προσδιορίζεται από :

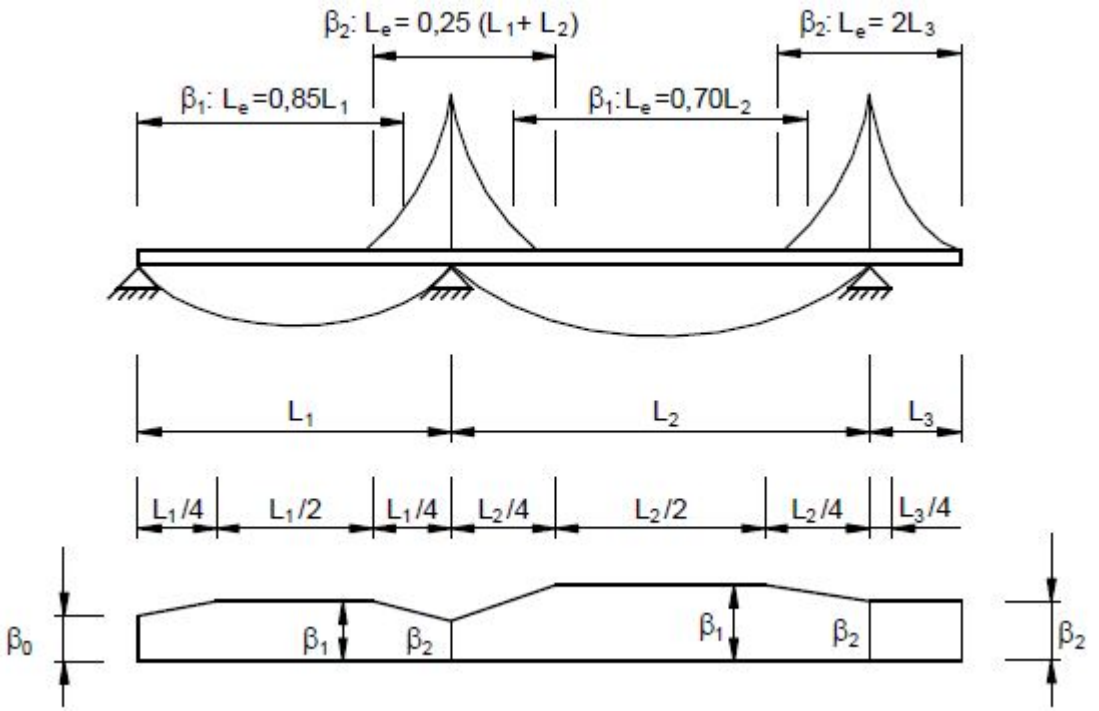
$$b_{eff} = \beta * b_0 \qquad (2.40)$$

Όπου $\beta$ είναι η κατάλληλη τιμή του μειωτικού συντελεστή και δίδεται στον πίνακα 2.4. Αυτό το ενεργό πλάτος μπορεί να είναι σχετικό με τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και κόπωσης.

Πίνακας 2.4: Μειωτικοί συντελεστές για διατμητική υστέρηση.

| $\kappa=\alpha_0^* b/L_e$ | θέση ελέγχου | τιμές του β |
|---|---|---|
| $\kappa \le 0{,}02$ | | $\beta = 1{,}0$ |
| $0{,}02 < \kappa \le 0{,}70$ | θετική ροπή | $\beta = \beta_1 = \dfrac{1}{1 + 6{,}4\,\kappa^2}$ |
| | αρνητική ροπή | $\beta = \beta_2 = \dfrac{1}{1 + 6{,}0\left(\kappa - \dfrac{1}{2500\,\kappa}\right) + 1{,}6\,\kappa^2}$ |
| $> 0{,}70$ | θετική ροπή | $\beta = \beta_1 = \dfrac{1}{5{,}9\,\kappa}$ |
| | αρνητική ροπή | $\beta = \beta_2 = \dfrac{1}{8{,}6\,\kappa}$ |
| όλα τα κ | ακραία στήριξη | $\beta_0 = (0{,}55 + 0{,}025 / \kappa)\,\beta_1$, αλλά $\beta_0 < \beta_1$ |
| όλα τα κ | Πρόβολος | $\beta = \beta_2$ στη στήριξη και στο άκρο |

Τα ενεργά μήκη $L_e$ , υπό την προϋπόθεση ότι γειτονικά ανοίγματα δεν διαφέρουν περισσότερο από 50% και οποιοδήποτε άνοιγμα προβόλου δεν είναι μεγαλύτερο από το μισό του γειτονικού ανοίγματος προσδιορίζονται από το σχήμα 2.9**.** Σε συνεχείς δοκούς τα μήκη μεταξύ των σημείων μηδενισμού, μπορούν να αντικατασταθούν με τα ενεργά μήκη $L_e$ .




Σχήμα 2.9: Υποθέσεις για συνεχείς δοκούς.

Για τον υπολογισμό των ενεργών τμημάτων των μελών ισχύουν τα εξής :

- Ύπαρξη εφελκυόμενου μέλος, το $b_0$ αντικαθίσταται από το :

$$b_{eff} = \beta_i * b_0 \tag{2.41}$$

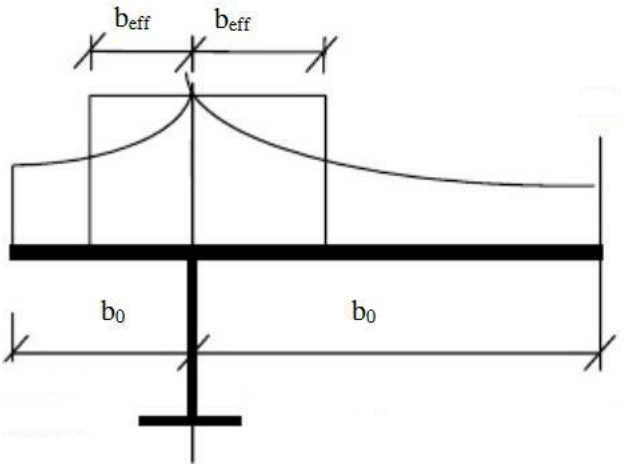
- Ύπαρξη θλιβόμενου μέλος, το $b_0$ αντικαθίσταται από το :

$$b_{eff} = \rho_L * b_0 \quad με \quad \rho_L = (\beta_i)^n * \rho \tag{2.42}$$

Όπου :

$\rho$ είναι ο μειωτικός συντελεστής για την κύρτωση και υπολογίζεται από τον έλεγχο σε τοπικό λυγισμό.

$\beta_i$ μειωτικός συντελεστής για διατμητική υστέρηση και υπολογίζεται από τον πίνακα 2.4 .




Σχήμα 2.10: Επεξηγήσεις συμβόλων.

Για ενισχυμένα πέλματα $\eta = b_0/L_m$ και για μη ενισχυμένα πέλματα $\eta = (b_0/L_m)/\delta$
Όπου :

$$\delta = \frac{2 * b_0}{t} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} \cong \frac{\frac{b_0}{t}}{14{,}95 * \varepsilon} \geq 1{,}0 \qquad (2.43)$$

2.2.4.2 Διατμητικός λυγισμός

Σε περίπτωση που εμφανίζεται καθαρά διάτμηση, η διατμητική δύναμη αναλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από τον κορμό της διατομής και επομένως αγνοούμε την συμβολή των πελμάτων. Η κατανομή της τέμνουσας στο κορμό κατανέμεται σχεδόν ομοιόμορφα.

Η αντοχή μίας διατομής σε διάτμηση ορίζεται η μικροτέρα από τις αντοχές που διαθέτει σε πλαστική διάτμηση $V_{pl}$ , ή σε διατμητική κύρτωση $V_b$. Για την αντοχή σε διάτμηση $V_{w,Rd}$ του κορμού, πρέπει να ισχύει :

$$V_{w,Rd} < V_{b,Rd} \qquad (2.44)$$

$$V_{w,Rd} < V_{pl,Rd} \qquad (2.45)$$

Η $V_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σε διατμητικό λυγισμό και υπολογίζεται ως εξής :

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{sin\varphi} * t * f_{bv}}{\gamma_{M0}} \qquad (2.46)$$

Όπου $f_{bv}$ είναι η αντοχή σε διατμητική κύρτωση ή λυγισμό και δίδεται από τον πίνακα 2.5 .

Πίνακας 2.5: Υπολογισμός διατμητικής κύρτωσης $f_{bv}$.

| Ανηγμένη λυγηρότητα κορμού | Κορμός χωρίς ακραίες ενισχύσεις | Κορμός με ακραίες ενισχύσεις |
|---|---|---|
| $\bar{\lambda}_w \leq 0,83$ | $0,58\, f_{yb}$ | $0,58\, f_{yb}$ |
| $0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$ | $0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$ | $0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$ |
| $\bar{\lambda}_w \geq 1,40$ | $0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$ | $0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$ |

Η λυγηρότητα του κορμού του μέλους υπολογίζεται ως εξής :

- Για κορμούς χωρίς διαμήκεις ενισχύσεις :

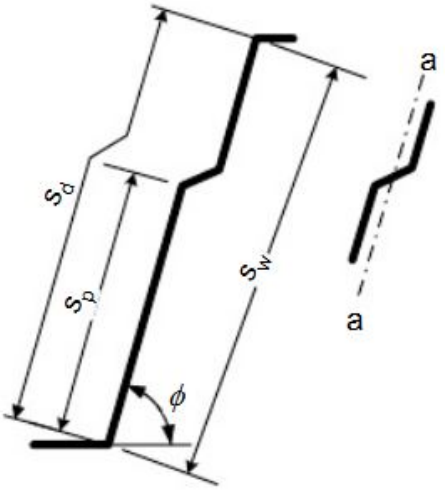
$$\bar{\lambda}_w = 0,346 * \frac{S_w}{t} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \cong \frac{\frac{S_w}{t}}{86,4 * \varepsilon} \tag{2.47}$$

- Για κορμούς με διαμήκεις ενισχύσεις:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 * \frac{S_d}{t} * \sqrt{\frac{5,34 * f_{yb}}{K_t * E}} \cong \frac{\frac{S_d}{t}}{86,4 * \varepsilon} * \sqrt{\frac{5,34}{K_t}} \geq 0,346 * \frac{S_p}{t} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \cong \frac{\frac{S_p}{t}}{K_t} \tag{2.48}$$

Όπου τα $S_d$ , $S_p$ , $S_w$ φαίνονται στο σχήμα 2.11 και για το $K_t$ ισχύει το εξής :

$$K_t = 5,34 * \frac{2,10}{t} * \left(\frac{\Sigma I_s}{S_d}\right)^{\frac{1}{3}} \tag{2.49}$$




Σχήμα 2.11: Επεξηγήσεις συμβόλων.

Η πλαστική αντοχή σε διάτμηση $V_{pl,Rd}$ υπολογίζεται παρακάτω :

$$V_{pl,Rd} = \left(\frac{h_w}{sin\varphi}\right) * t * \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} \quad (2.50)$$

Η πλαστική αντοχή σε διάτμηση ελέγχεται στην περίπτωση του κορμού, ο οποίος δεν έχει διαμήκεις ενισχύσεις εάν :

$$\frac{S_w}{t} \leq 72 * \varepsilon * \left(\frac{f_{yb}}{f_y}\right) * \left(\frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M1}}\right) \quad (2.51)$$

### 2.2.4.3 Συνδυασμοί καταπονήσεων

Στην περίπτωση που εμφανίζεται συνδυασμός καταπονήσεων, τότε αυτός πρέπει να ελέγχεται. Για ύπαρξη διατμητικής δύναμης και καμπτικής ροπής πρέπει να ισχύει ο εξής έλεγχος :

$$\left(\frac{M_{sd}}{M_{c,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{c,Rd}}\right)^2 \leq 1{,}00 \quad (2.52)$$

Όπου $M_{c,Rd}$ , $V_{c,Rd}$ η ροπή αντοχής της διατομής και η αντοχή σε διάτμηση του κορμού αντιστοίχως.

# 3 Αριθμητικά παραδείγματα – υπολογιστικό φύλλο EXCEL

## 3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και σε παραπάνω κεφάλαιο, αντικείμενο της διπλωματικής είναι η μελέτη μίας μη μόνιμης, αλλά βατής κατασκευής πατώματος. Η κατασκευή αυτή θα αποτελείτο εξ' ολοκλήρου από μεταλλικά στοιχεία, τα οποία προέρχονται κατασκευαστικά από την διαδικασία ψυχράς ελάσεως. Όλα τα μεταλλικά στοιχεία θα υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία (γαλβάνισμα, αμμοβολή κλπ.) ώστε να επιτύχουμε προστασία των στοιχείων σύμφωνα με το κεφάλαιο 1.3.6. Επιπλέον, για την σύνδεση των μεταλλικών αυτών στοιχείων θα χρησιμοποιηθούν εποξειδικές ρητίνες των οποίων τα χαρακτηριστικά αναλύθηκαν σε παραπάνω κεφάλαιο. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής είναι, όπως θα προκύψει από τους υπολογισμούς παρακάτω, ότι είναι πολύ ελαφρύ σε σχέση με τα φορτία που μπορεί να αναλάβει. Περισσότερα, όμως, για τα πλεονεκτήματα αυτού του μεταλλικού πατώματος υπάρχουν σε παρακάτω κεφάλαιο.

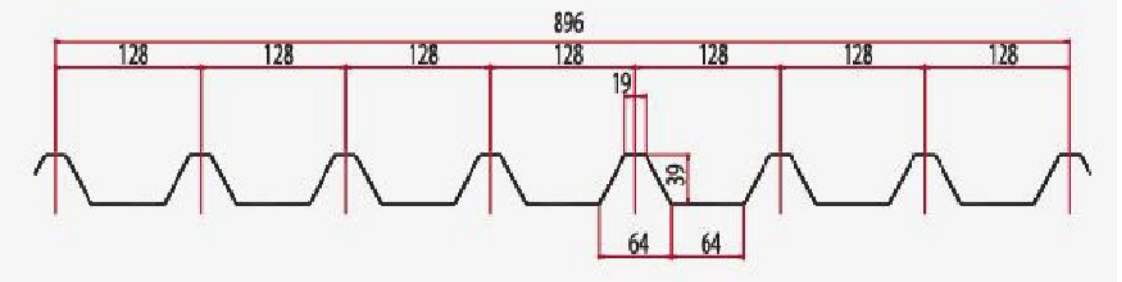
Τα βασικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη του βατού πατώματος, τα οποία και θα χρησιμεύσουν κατά την κατασκευή είναι τα εξής :

Σύμφωνα με τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν κατάλληλη τραπεζοειδής λαμαρίνα είναι του μοντέλου *ELT 39/896* πάχους *0,70mm* , επίπεδη λαμαρίνα διαστάσεων *1,00m*3,00m* με πάχος *1,50mm* και τετραγωνικοί κοιλοδοκοί των οποίων τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται από τις διαστάσεις του πατώματος που πρέπει να κατασκευαστεί. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί πάτωμα διαστάσεων *3,00m*5,376m*, επομένως θα χρησιμοποιηθούν κοιλοδοκοί με αντίστοιχο μήκος ανοίγματος.

Ένα τυπικό φύλλο τραπεζοειδής λαμαρίνας *ELT 39/896* παρουσιάζει τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα :

Πίνακας 3.1: Πάχη τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου και επιτρεπόμενα φορτία.

| Πάχος S (mm) | ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ (Kg/m²) Άνοιγμα τεγίδων (m) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,0 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,50 | 3,0 |
| 0,40 | 470 | 318 | 209 | 153 | 117 | 93 | 75 | 52 |
| 0,45 | 528 | 358 | 236 | 173 | 132 | 104 | 84 | 59 |
| 0,50 | 587 | 435 | 261 | 192 | 147 | 116 | 94 | 65 |
| 0,60 | 704 | 477 | 313 | 230 | 176 | 139 | 113 | 78 |
| 0,70 | 824 | 558 | 366 | 269 | 206 | 163 | 132 | 92 |
| 0,80 | 941 | 638 | 418 | 307 | 235 | 186 | 151 | 105 |
| 0,90 | 1058 | 717 | 470 | 345 | 265 | 209 | 169 | 118 |
| 1,00 | 1174 | 795 | 522 | 383 | 294 | 232 | 188 | 130 |




Σχήμα 3.1: Γεωμετρία τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου τύπου *ELT 39/896* .

Ένα τυπικό φύλλο επίπεδης λαμαρίνας έχει τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα :

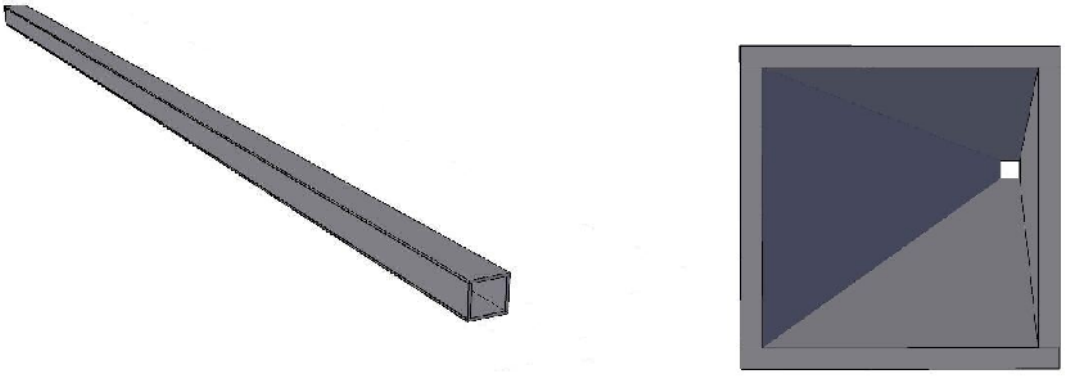
Πίνακας 3.2: Πάχη επίπεδης λαμαρίνας και επιτρεπόμενα φορτία.

| Πάχος (mm) | 1000x3000 |
|---|---|
| 0,30 | 7,2 |
| 0,40 | 9,6 |
| 0,50 | 12,0 |
| 0,60 | 14,4 |
| 0,70 | 16,8 |
| 0,80 | 19,2 |
| 0,90 | 21,6 |
| 1,00 | 24,0 |
| 1,25 | 30,0 |
| 1,50 | 36,0 |
| 2,00 | 48,0 |
| 2,50 | 60,0 |
| 3,00 | 72,0 |

Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθεί εποξειδική ρητίνη τύπου *P103* του εμπορίου. Η συγκεκριμένη εποξειδική ρητίνη έχει τα εξής χαρακτηριστικά γνωρίσματα :

Έχει εξαιρετική πρόσφυση στο μπετόν (ακόμα και όταν είναι υγρή η επιφάνεια), στο ατσάλι, στα μέταλλα, στη πέτρα, στα συνθετικά υλικά (νεοπρένιο, καουτσούκ, κλπ.). Επίσης, παρουσιάζει γρήγορη σκλήρυνση χωρίς συρρίκνωση και αποτελείται από συστατικά διαφορετικής απόχρωσης.

Τέλος, όσον αφορά τους τετραγωνικούς κοιλοδοκούς παρουσιάζουν τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά :

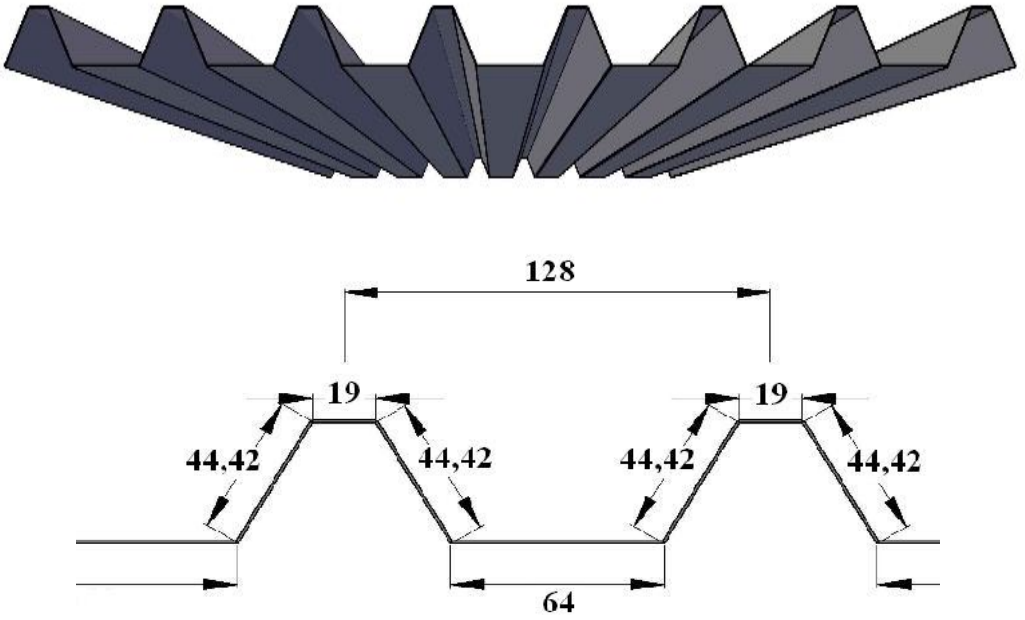


Σχήμα 3.2: Τυπική μορφή τετραγωνικών κοιλοδοκών του εμπορίου .

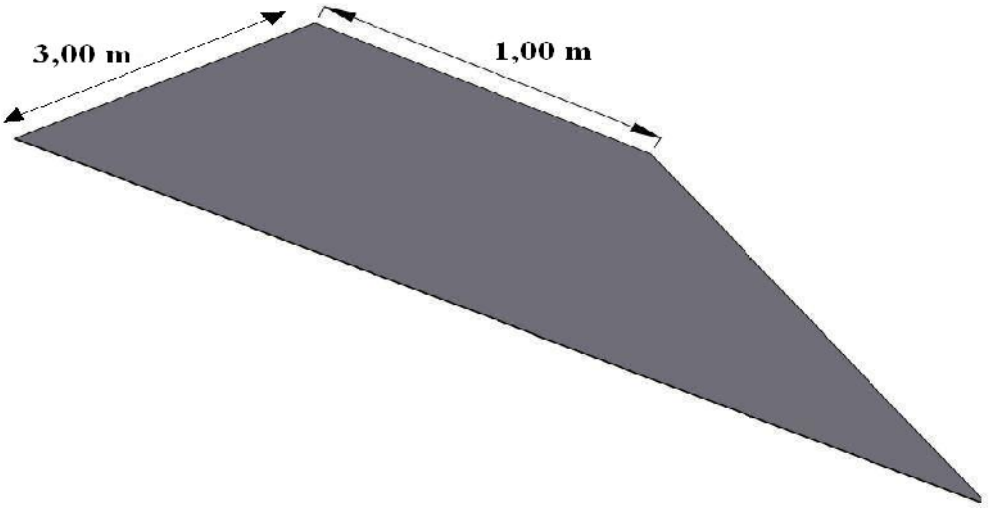
Πίνακας 3.3: Πάχη τετραγωνικών κοιλοδοκών και επιτρεπόμενα φορτία.

| ΔΙΑΤΟΜΗ a x a (mm) | ΠΑΧΟΣ t (mm) | ΒΑΡΟΣ G (kg/m) |
|---|---|---|
| 120x120 | 3 | 10,91 |
| | 4 | 14,35 |
| | 5 | 17,55 |
| | 6 | 20,75 |
| | 8 | 27,60 |
| 140x140 | 4 | 16,86 |
| | 5 | 20,69 |
| | 6 | 24,52 |
| | 8 | 32,50 |
| 150x150 | 4 | 18,12 |
| | 5 | 22,26 |
| | 6 | 26,40 |
| | 8 | 33,82 |
| 180x180 | 6 | 32,05 |
| | 8 | 41,91 |
| | 10 | 52,40 |
| 200x200 | 6 | 35,82 |
| | 8 | 46,94 |

Η παρούσα μελέτη βατού μη μόνιμου πατώματος θα περιοριστεί στην επίλυση πλάκας με χρήση ενός μεμονωμένου τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου. Σύμφωνα με τα υπολογιστικά φύλλα EXCEL που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε ότι τα μεταλλικά στοιχεία τα οποία ανταποκρίνονται στις δυνάμεις που ασκούνται έχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.




Σχήμα 3.3: Γεωμετρία τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου *ELT 39/896*.




Σχήμα 3.4: Γεωμετρία επίπεδης λαμαρίνας.

Το πλάτος των *5,40m* της κατασκευής θα προκύψει με την χρησιμοποίηση έξι όμοιων τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων, τα οποία και θα συνδέονται μεταξύ τους και θα στηρίζονται σε κοιλοδοκούς.

Σχήμα 3.5: Όψη κατασκευής μη μόνιμου βατού δαπέδου.

### 3.1.1 Έλεγχος γεωμετρίας μεταλλικών στοιχείων

Ο έλεγχος της γεωμετρίας (ή έλεγχος ρυτίδωσης) τόσο για το τραπεζοειδές όσο και για την επίπεδη λαμαρίνα και τους κοιλοδοκούς σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα EN 1993 είναι ο εξής :

- Για το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο :

$$0{,}45mm \leq t_t = 0{,}70mm \leq 15{,}00mm$$
$$\frac{b_{t,u}}{t_t} = \frac{19{,}0mm}{0{,}70mm} = 27{,}14 < 500$$
$$\frac{h_t}{t_t} = \frac{38{,}30mm}{0{,}70mm} = 54{,}71 < 500 * sin\varphi = 500 * sin(1{,}0396) = 431{,}10$$
$$45° \leq \frac{\varphi * 180°}{\pi^{rad}} = \frac{1{,}0396^{rad} * 180°}{\pi^{rad}} = 59{,}56° \leq 90°$$

Όπου $h_t$ είναι το βάθος της διατομής του τραπεζοειδές φύλλου, $t_t$ είναι το κάθετο πάχος των μελών της διατομής, $b_{t,u}$ είναι το πλάτος του άνω πέλματος και $\varphi$ είναι η γωνία που σχηματίζει ο κεκλιμένος κορμός και υπολογίζεται ως εξής :

$$\varphi = arctan\left(\frac{h_t}{0{,}50 * b_{t,d} - 0{,}50 * b_{t,u}}\right) =$$
$$= arctan\left[\frac{38{,}30mm}{(0{,}50 * 64{,}00mm - 0{,}50 * 19{,}00mm)}\right] = 1{,}0396\ rad$$

- Για την επίπεδη λαμαρίνα :

$$0{,}45mm \leq t_{ls} = 1{,}50mm \leq 15{,}00mm$$

Όπου $t_{ls}$ είναι το πάχος του επίπεδου ελάσματος.

- Ο έλεγχος της γεωμετρίας των κοιλοδοκών πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 3.8.1.

## 3.2 Έλεγχος μεμονωμένου τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου

### 3.2.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη μεμονωμένου φύλλου

Για διευκόλυνση της κατανόησης του τρόπου λειτουργίας της κατασκευής, στην παράγραφο αυτή θα εξεταστούν οι αντοχές που μπορεί να έχει ένα μεμονωμένο τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο, χωρίς την ύπαρξη επίπεδου ελάσματος συνδεδεμένο με αυτό. Όπως θα φανεί παρακάτω, οι αντοχές που προσδίδει συνολικά η κατασκευή είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντοχές ενός μεμονωμένου τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου.

Το εμβαδόν του τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου υπολογίζεται ως εξής :

$$A_p = t_t * \frac{(0{,}5 * b_{t,u} + b_{tw} + 0{,}5 * b_{t,d})}{0{,}50 * b_{t,ar}} =$$
$$= 0{,}70mm * \frac{(0{,}5 * 19{,}00mm + 44{,}42mm + 0{,}5 * 64{,}0mm)}{0{,}50 * 0{,}128m} = 939{,}75\ {}^{mm^2}/_{m}$$

Όπου $b_{tw}$ είναι το κεκλιμένο μήκος του κορμού, $b_{t,ar}$ είναι το πλάτος αναφοράς και το οποίο επαναλαμβάνεται για την σύνθεση του χαλυβδοφύλλου, $b_{t,d}$ είναι το μήκος του κάτω πέλματος.

Το ίδιο βάρος της τραπεζοειδής λαμαρίνας υπολογίζεται ως :

$$g_t = A_y * 10^{-6} * \gamma_s = 939{,}75 * 10^{-6}\, m^2/_m * 78{,}5\, kN/_{m^3} = 0{,}0737\, kN/_{m^2}$$

Επιπλέον στο μεμονωμένη τραπεζοειδής λαμαρίνα ασκείται :

- Μόνιμο φορτίο :

$$g = 1{,}00\, kN/_{m^2}$$

- Πρόσθετο κινητό φορτίο :

$$q = 2{,}00\, kN/_{m^2}$$

Τα φορτία σχεδιασμού είναι :

$$q_d = 1{,}35 * (g_t + g) + 1{,}50 * q =$$
$$= 1{,}35 * \left(0{,}0737\, kN/_{m^2} + 1{,}00\, kN/_{m^2}\right) + 1{,}5 * 2{,}00\, kN/_{m^2} = 4{,}449\, kN/_{m^2}$$

Από την επίλυση προκύπτουν τα παρακάτω εντατικά μεγέθη :

- Ροπή ανοίγματος :

$$M_{f,Sd} = -0{,}125 * q_d * L^2 = -0{,}125 * 4{,}449\, kN/_{m^2} * 3{,}00^2 m^2 = -5{,}01\, kNm/_m$$

- Τέμνουσα στήριξης :

$$V_{Sd} = 0{,}50 * q_d * L = 0{,}50 * 4{,}449\, kN/_{m^2} * 3{,}00\, m = 6{,}67\, kN/_m$$

Όπου $L$ το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών για την αμφιέρειστη πλάκα.

Η θέση κέντρου βάρους πλήρους διατομής (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι :

$$z_{c,bt} = \frac{t_c * \left(b_{cw} * 0{,}50 * h_c + 0{,}50 * b_{t,ar} * h_c\right)}{t_c * \left(0{,}50 * b_{t,ar} + 0{,}50 * b_{t,d} + b_{cw}\right)} =$$
$$= \frac{0{,}70mm * (44{,}42mm * 0{,}50 * 38{,}30mm + 0{,}50 * 19{,}00mm * 38{,}30mm)}{0{,}70mm * (0{,}50 * 19{,}00mm + 0{,}50mm * 64{,}00mm + 44{,}42mm)} =$$
$$= 14{,}135mm$$

### 3.2.2 Έλεγχος λειτουργικότητας μεμονωμένου φύλλου

Τα φορτία σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι :

- Συνολικό φορτίο :

$$q_{t,ser} = (g + g_t) + q = \left(1{,}00\,{}^{kN}/_{m^2} + 0{,}0737\,{}^{kN}/_{m^2}\right) + 2{,}00\,{}^{kN}/_{m^2}$$
$$= 3{,}0737\,{}^{kN}/_{m^2}$$

- Μεταβλητό φορτίο :

$$q_{t,2,ser} = q = 2{,}00\,{}^{kN}/_{m^2}$$

Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας χρησιμοποιείται η ροπή αδράνειας της πλήρους διατομής :

$$I_{t,g} = \frac{1}{0{,}50 * b_{t,ar}} * \left[t_t * \frac{1}{2} * b_{t,d} * {z_{t,ds}}^2 + t_{t,ht} * \frac{{h_t}^3}{12} + t_{t,ht} * h_t * \left(z_{t,ds} - \frac{1}{2} * h_t\right)^2 + \right.$$
$$\left. + t_t * \frac{1}{2} * b_{t,u} * \left(h_t - z_{t,ds}\right)^2\right] = \frac{1}{0{,}064m} * \left[0{,}70mm * \frac{64{,}0}{2}mm * 14{,}135^2 mm^2 + \right.$$
$$+0{,}812mm * \frac{38{,}30^3 mm^3}{12} + 0{,}812mm * 38{,}30mm * \left(14{,}135mm - \frac{1}{2} * 38{,}30mm\right)^2 +$$
$$\left. +0{,}70mm * \frac{1}{2} * 19{,}00mm * (38{,}30mm - 14{,}135mm)^2\right] = 202.227{,}06\ {}^{mm^4}/_{m} =$$
$$= 20{,}22\ {}^{cm^4}/_{m}$$

Όπου $t_{t,ht}$ είναι το οριζόντιο πάχος του κεκλιμένου κορμού και υπολογίζεται ως εξής :

$$t_{t,ht} = \frac{t_t}{sin\varphi} = \frac{0{,}70mm}{sin(1{,}0396)} = 0{,}812mm$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω συνολικού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{t,ser} * L^4}{184{,}60 * E * I_{t,g}} = \frac{3{,}0737 * 10^{-2}\,{}^{kN}/_{cm^2} * (300)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\,{}^{kN}/_{cm^2} * 20{,}22\,{}^{cm^4}/_{m}} = 3{,}18cm \nleq \frac{L}{250}$$
$$= \frac{3{,}00 * 100cm}{250} = 1{,}20cm$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{t,2,ser} * L^4}{184{,}60 * E * I_{t,g}} = \frac{2{,}00 * 10^{-2}\,{}^{kN}/_{cm^2} * (300)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\,{}^{kN}/_{cm^2} * 20{,}22\,{}^{cm^4}/_{m}} = 2{,}07cm \nleq \frac{L}{300}$$
$$= \frac{3{,}00 * 100cm}{300} = 1{,}00cm$$

### 3.2.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος μεμονωμένου φύλλου

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου για θετικές ροπές σε πλάτος αναφοράς :

$b = 0{,}50 * b_{t,ar} = 0{,}50 * 128{,}00mm = 64{,}00mm$

Δεν απαιτείται έλεγχος διατμητικής υστερήσεως επειδή ισχύει :

$$\frac{b_{t,u}}{L} = \frac{0{,}019m}{3{,}00m} = 0{,}0063 < \frac{1}{20} = 0{,}050$$

Η απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού είναι :

$$L_m = L_e = 1{,}00 * L = 1{,}00 * 3{,}00m = 3{,}00m$$

### 3.2.3.1 Εφελκυόμενο κάτω πέλμα

Σύμφωνα με τον κανονισμό το εφελκυόμενο πέλμα κατά τον τοπικό λυγισμό θεωρείται πλήρως ενεργό. Επομένως ισχύει ότι :

$$b_{eff,t,d} = 64{,}00mm$$

Οπότε, λόγω συμμετρίας ισχύει :

$$b_{eff,t,d,1} = b_{eff,t,d,2} = \frac{b_{eff,t,d}}{2} = \frac{64{,}00mm}{2} = 32{,}00mm$$

### 3.2.3.2 Θλιβόμενο άνω πέλμα

Από προηγούμενη παράγραφο έχει υπολογιστεί ότι η θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι $z_{t,bt} = 14{,}135mm$. Επομένως ισχύει το εξής :

$$z_{t,dt} = 14{,}135mm < z_{t,uc} = h_t - z_{t,dt} = 38{,}30mm - 14{,}135mm = 24{,}165mm$$

Επειδή $z_{t,dt} \leq z_{t,uc}$ το θλιβόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το εφελκυόμενο.

Το άνω πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη, οπότε ισχύει ότι το $\psi = 1{,}00$ άρα και $K_\sigma = 4{,}00$.

Η ανηγμένη λυγηρότητα του άνω πέλματος υπολογίζεται ως :

$$\bar{\lambda}_\rho = 1{,}052 * \frac{b_w}{t_t} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b_{t,u}}{t_t}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{19{,}00mm}{0{,}70mm}}{28{,}4 * 1{,}0 * \sqrt{4{,}00}} = 0{,}478$$

Επειδή για την ανηγμένη λυγηρότητα του πέλματος ισχύει ότι $\bar{\lambda}_\rho = 0{,}478 < 0{,}673$ , για τον μειωτικό συντελεστή κύρτωσης ισχύει ότι $\rho = 1{,}00$. Επομένως ισχύει ότι :

$$b_{eff,t,u} = \rho * b_{t,u} = 1{,}00 * 19{,}00mm = 19{,}00mm$$

Λόγω συμμετρίας ισχύει :

$$b_{eff,t,u,1} = b_{eff,t,u,2} = \frac{b_{eff,t,u}}{2} = \frac{19{,}00mm}{2} = 9{,}50mm$$

### 3.2.3.3 Γεωμετρία με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό

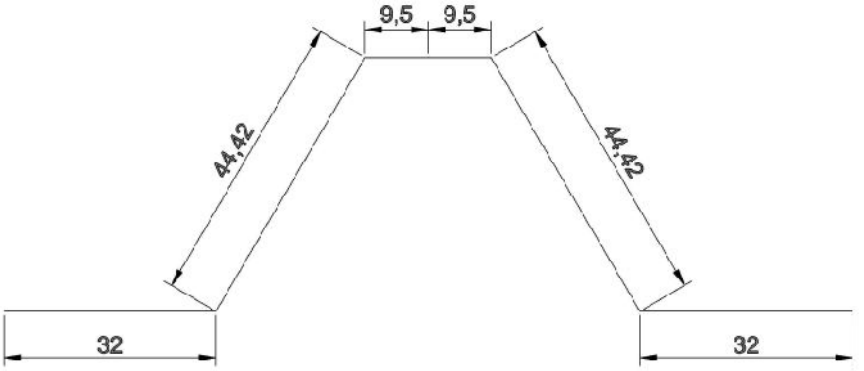
Το εμβαδόν της διατομής με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό δίδεται ως :

$$A = t_t * \left(b_{eff,t,u,1} + b_{eff,t,d,1} + b_{cw}\right) = 0{,}70mm * (9{,}50mm + 32{,}00mm + 44{,}42mm)$$

$$= 60{,}144mm^2$$

Επειδή τόσο το θλιβόμενο πέλμα όσο και το εφελκυόμενο είναι πλήρως ενεργά, αφού δεν έχουν υποστεί απομείωση, ισχύει για τη θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) :

$$z_{t,bt} = \frac{t_t * \left(b_{tw} * 0{,}50 * h_t + 0{,}50 * b_{t,u} * h_t\right)}{A} =$$
$$= \frac{0{,}70mm * (44{,}42mm * 0{,}50 * 38{,}30mm + 0{,}50 * 19{,}00mm * 38{,}30mm)}{60{,}144mm^2} =$$
$$= 14{,}135mm$$




Σχήμα 3.6: Διατομή με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό .

Στο κεκλιμένο στοιχείο ισχύει :

- Απόσταση από το εφελκυόμενο πέλμα :

$$b_t = \frac{z_{t,bt}}{sin\varphi} = \frac{14{,}135mm}{sin(1{,}0396)} = 16{,}394mm$$

- Απόσταση από το θλιβόμενο πέλμα :

$$b_c = \frac{h_t - z_{t,bc}}{sin\varphi} = \frac{38{,}30mm - 14{,}135mm}{sin(1{,}0396)} = 28{,}027mm$$

### 3.2.3.4 Ενεργός διατομή κορμού

Επειδή :

$z_{t,dt} = 14{,}135mm < z_{t,uc} = h_t - z_{t,dt} = 38{,}30mm - 14{,}135mm = 24{,}165mm$

το θλιβόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το εφελκυόμενο.

Ο λόγος $\psi$ υπολογίζεται ως εξής :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{z_{t,dt}}{z_{t,uc}} = \frac{14{,}135mm}{-24{,}165mm} = -0{,}585$$

*Όπου* $(3 + \psi) = (3 - 0{,}585) = 2{,}415 \geq 0$

Επομένως για το $\psi$ ισχύει ότι $0 > \psi > -1$, άρα για το συντελεστή κύρτωση $K_\sigma$ έχουμε ότι :

$$K_\sigma = 7{,}81 - 6{,}29 * \psi + 9{,}78 * \psi^2 = 7{,}81 - 6{,}29 * (-0{,}585) + 9{,}78 * (-0{,}585)^2$$
$$= 14{,}84$$

Αφού υπολογίστηκε ο συντελεστή κύρτωσης υπολογίζεται η ανηγμένη λυγηρότητα :

$$\bar{\lambda}_p = 1{,}052 * \frac{b_w}{t_c} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b_{cw}}{t_c}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{44{,}42mm}{0{,}70mm}}{28{,}4 * 1{,}0 * \sqrt{14{.}84}} = 0{,}580 < 0{,}673$$

Τέλος, υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης $\rho$ :
Επειδή $\bar{\lambda}_p = 0{,}580 < 0{,}673$, το : $\rho = 1{,}00$

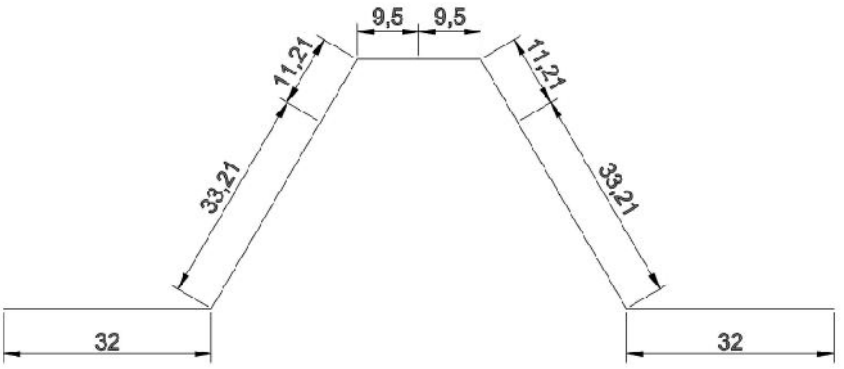
Σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού ισχύει για το ενεργό πλάτος του κορμού του μεμονωμένου τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου :

$$b_{eff} = \rho * b_c = 1{,}00 * 28{,}027mm = 28{,}027mm$$
$$b_{e1} = 0{,}40 * b_{eff} = 0{,}40 * 28{,}027mm = 11{,}211mm$$
$$b_{e2} = 0{,}60 * b_{eff} = 0{,}60 * 28{,}027mm = 16{,}816mm$$

Όπου το $b_{e1} = b_{eff1}$ , είναι το ενεργό κεκλιμένο τμήμα του κορμού προς το θλιβόμενο άνω πέλμα.

Ο υπολογισμός του ενεργού, κεκλιμένου τμήματος, του κορμού προς το εφελκυόμενο κάτω πέλμα πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία :

$$b_{eff2} = b_{cw} - b_{e1} - (b_c - b_{e1} - b_{e2}) = 44{,}42mm - 11{,}211mm - (28{,}027mm - -11{,}211mm - 16{,}816mm) = 33{,}209mm$$




Σχήμα 3.7: Ενεργός διατομή .

### 3.2.3.5 Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής

Ο υπολογισμός των αδρανειακών μεγεθών της ενεργούς διατομής πραγματοποιούνται με πλάτος αναφοράς $b = 0{,}50 * b_{t,ar} = 0{,}50 * 128{,}00mm = 64{,}00mm$

Το εμβαδόν της ενεργούς διατομής είναι :

$$A_{eff} = t_c * (0{,}50 * b_{eff,c,d} + 0{,}50 * b_{eff,c,u} + b_{eff1} + b_{eff2}) =$$
$$= 0{,}70mm * (0{,}50 * 64{,}00mm + 0{,}50 * 19{,}00mm + 11{,}211mm + 33{,}209mm) =$$
$$= 60{,}144mm^2$$

Παρατηρούμε ότι το εμβαδόν ενεργούς διατομής είναι ίσο με το εμβαδόν πλήρης διατομής. Αυτό συμβαίνει γιατί τόσο τα πέλματα όσο και ο κορμός είναι πλήρως ενεργά. Επομένως η θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι :

$$z_{c,bc} = \frac{t_c * \left[b_{eff2} * \frac{1}{2} * sin\varphi * b_{eff2} + b_{eff1} * \left(h_c - sin\varphi * b_{eff1} * \frac{1}{2}\right) + b_{eff,c,u1} * h_c\right]}{A_{eff}}$$

$$= \left(\frac{0{,}70mm}{60{,}144mm}\right) * \left[33{,}209mm * \frac{1}{2} * sin(1{,}0396) * 33{,}209mm + \right.$$
$$\left. +11{,}211mm * \left(38{,}30mm - sin(1{,}0396) * 11{,}211mm * \frac{1}{2}\right) + 9{,}50mm * 38{,}30mm\right]$$
$$= 14{,}135mm$$

Η ροπή αδρανείας της ενεργούς διατομής υπολογίζεται ως εξής :

$$I_{eff} = t_t * b_{eff,t,d,1} * z_{t,bt}{}^2 + t_{t,ht} * \frac{(sin\varphi * b_{eff2})^3}{12} + t_{t,ht} * \frac{(sin\varphi * b_{eff1})^3}{12} +$$
$$+ t_{t,ht} * (sin\varphi * b_{eff2}) * \left[z_{t,bt} - \frac{(sin\varphi * b_{eff2})}{2}\right]^2 + t_t * b_{eff,t,u,1} * (h_t - z_{t,bt})^2 +$$
$$+ t_{t,ht} * (sin\varphi * b_{eff1}) * \left[h_t - z_{t,bt} - \frac{(sin\varphi * b_{eff1})}{2}\right]^2 =$$
$$= 0{,}7mm * 32{,}0mm * 14{,}135^2 mm^2 + 0{,}812mm * \frac{[sin(1{,}0396) * 33{,}209mm]^3}{12} +$$
$$+ 0{,}812 * \frac{[sin(1{,}0396) * 11{,}211mm]^3}{12} + 0{,}812mm * [sin(1{,}0396) * 33{,}209mm] *$$
$$* \left[14{,}135mm - \frac{[sin(1{,}0396) * 33{,}209mm]}{2}\right]^2 + 0{,}7 * 9{,}5mm * (38{,}30mm - 14{,}135)^2$$
$$+ 0{,}812 * [sin(1{,}0396) * 11{,}211] * \left[38{,}3mm - 14{,}135 - \frac{[sin(1{,}0396) * 11{,}211mm]}{2}\right]^2$$
$$= 12942{,}36mm^4$$

Η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής είναι :

$$W_{eff,com} = \frac{I_{eff}}{z_u} = \frac{12942{,}36mm^4}{(38{,}30mm - 14{,}135mm)} = 535{,}58mm^3$$
$$W_{eff,ten} = \frac{I_{eff}}{z_d} = \frac{12942{,}36mm^4}{14{,}135mm} = 915{,}63mm^3$$

Επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η ροπή αντοχής ανοίγματος της διατομής του μεμονωμένου τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου :

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y * W_{eff.com}}{\gamma_M} = \frac{23{,}5\ {}^{kN}/_{cm^2} * (535{,}58/1000)cm^3}{1{,}0} = 12{,}586\ kNcm$$

Η ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο είναι :

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{0{,}50 * b_{t,ar}} = \frac{12{,}586 * 10^{-2} kNm}{0{,}50 * 0{,}128m} = 1{,}97\ {}^{kNm}/_{m}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο ροπής ανοίγματος ισχύει :

$$M_{f,Sd} = 5{,}01\ {}^{kNm}/_{m} \nleq M_{c,Rd} = 1{,}97\ {}^{kNm}/_{m}$$

### 3.2.4 Έλεγχος τέμνουσα στήριξης μεμονωμένου φύλλου

Η ανηγμένη λυγηρότητα υπολογίζεται ως :

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346 * \frac{b_{cw}}{t} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \cong \frac{\frac{b_{cw}}{t}}{86{,}4 * \varepsilon} = \frac{\frac{44{,}42mm}{0{,}70mm}}{86{,}4 * 1} = 0{,}734 \quad \text{, όπου } \bar{\lambda}_w < 0{,}83$$

Επομένως σύμφωνα με πίνακα του κανονισμού η οριακή τάση κύρτωσης λόγω διάτμησης είναι :

$$f_{bv} = \frac{0{,}58 * f_{yb}}{1{,}00} = \frac{0{,}58 * 23{,}5\ {}^{kN}/_{cm^2}}{1{,}00} = 13{,}63\ {}^{kN}/_{cm^2}$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού είναι :

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{sin\varphi} * t * f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{38{,}30 * 10^{-1}cm}{sin\,(1.0396)} * 0{,}70 * 10^{-1}cm * 13{,}63\ {}^{kN}/_{cm^2}}{1{,}0} = 4{,}238\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \left(\frac{h_w}{sin\varphi}\right) * t * \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \left[\frac{38{,}30 * 10^{-1}cm}{sin\,(1.0396)}\right] * 0{,}70 * 10^{-1}cm * \frac{\left(\frac{23{,}5\ {}^{kN}/_{cm^2}}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} =$$

$$= 4{,}219\ kN$$

Άρα ισχύει :

$$V_{w,Rd} = min\left(V_{b,Rd}\,;V_{pl,Rd}\right) = min(3{,}507kN\,;3{,}623\ kN) = 4{,}219\ kN = V_{pl,Rd}$$

Η τέμνουσα αντοχής ανά τρέχον μέτρο είναι :

$$V_{w,Rd} = \frac{V_{pl,Rd}}{0{,}50 * b_{t,ar}} = \frac{4{,}219kN}{0{,}50 * 0{,}128mm} = 65{,}92\ {}^{kN}/_{m}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο τέμνουσας στήριξης ισχύει :

$$V_{Sd} = 6{,}67\ {}^{kN}/_{m} \leq V_{w,Rd} = 65{,}92\ {}^{kN}/_{m}$$

### 3.2.5 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι ενώ ο έλεγχος τέμνουσας στήριξης επαληθεύεται, ο έλεγχος ροπής ανοίγματος και λειτουργικότητας δεν επαληθεύονται, επομένως το μεμονωμένο τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο δεν θα μπορούσε να αντέξει τα φορτία μελέτης και δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν βατό δάπεδο. Η μελέτη της κατασκευής του πατώματος από μεμονωμένα τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα δεν είναι εφικτή. Παρακάτω θα μελετηθεί η χρήση επίπεδη λαμαρίνας συνδεδεμένη με εποξειδική ρητίνη με το τραπεζοειδές φύλλο.

## 3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του EXCEL

### 3.3.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη

| | | | |
|---|---|---|---|
| Εμβαδόν τραπ/δούς: | $A_p$ = | 939,750443 | $mm^2/m$ |
| Ίδιο βάρος τραπ/ούς χαλ/λου, | $g_t$= | 0,07377041 | $kN/m^2$ |
| Κινητό φορτίο : | q = | 2,00 | $kN/m^2$ |
| Μόνιμο φορτίο : | g = | 1,00 | $kN/m^2$ |
| *Συνολικό Βάρος:* | $G_{SUM}$ = | 3,073770 | $kN/m^2$ |
| Συντελεστές ασφαλείας : | $\gamma_G$ = | 1,35 | |
| | $\gamma_Q$ = | 1,50 | |
| Φορτία σχεδιασμού : | $q_d$ = | 4,44959005 | $kN/m^2$ |
| Ροπή ανοίγματος : | $M_{f,Sd}$ = | 5,0058 | kNm/m |
| Μέγιστη τέμνουσα : | $V_{Sd}$ = | 6,6744 | kN/m |

*Θέση κέντρου βάρους* πλήρους διατομής από το *κάτω πέλμα* :

$z_{t,ms}$= 14,135163 mm

### 3.3.2 Έλεγχος λειτουργικότητας

| | | | |
|---|---|---|---|
| Συνολικό φορτίο : | $g_{t,ser}$ = | 3,073770 | $kN/m^2$ |
| Μεταβλητό φορτίο : | $q_{t,2,ser}$ = | 2,00 | $kN/m^2$ |
| Ροπή αδράνειας : | $I_{t,g}$ = | 202214,235 | $mm^4/m$ |
| ή | $I_{t,g}$ = | 20,2214235 | $cm^4/m$ |

Βέλος λόγω συνολικού φορτίου :

$\delta_{t,max}$ = 3,17609679 > L/250 = 1,20 cm

Βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου :

$\delta_{t,2}$ = 2,06658036 > L/300 = 1,00 cm

### 3.3.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή του χαλ/λου σε *πλάτος αναφοράς* :

$b_{ref}$= 64,00 mm

**§ Εφελκυόμενο κάτω πέλμα**

απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 3,00 m

πλάτος πέλματος που μετέχει στον τοπικό λυγισμό: $b_o$ = 64,00

$b_{eff}$ = 64,00 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 32 mm

**§ Θλιβόμενο άνω πέλμα**

απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 3,00 m

θέση κεντρου βάρους από το κάτω πέλμα :

$z_t$= 14,13516 mm

άρα ισχύει : $z_c$= 24,16484 mm

το άνω πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη , οπότε :

ψ= 1,00 και $K_\sigma$= 4,0

$f_y$ = 235 και ε= 1,00

πλάτος πέλματος που μετέχει στο τοπικό λυγισμό : $b_o$ = 19,00

$\lambda_\rho$= 0,477867 ≤ 0,673

ρ= 1,00000 ≤ 1,0

$b_{eff}$ = 19,00 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 9,5 mm

**§ Γεωμετρία με ενεργά πέλματα**

εμβαδόν διατομής : $A_{eff}$= 60,1440 $mm^2$

θέση κέντρου βάρους ( απόσταση από το *κάτω πέλμα* ) :

$z_s$= 14,13516 mm

Στο κεκλιμένο στοιχείο :

από το εφελκυόμενο πέλμα :

$b_\tau$= 16,3939 mm

& από το θλιβόμενο πέλμα :

$b_c$= 28,0262 mm

**§ Ενεργός διατομή κορμού**

Η απόσταση από το *θλιβόμενο πέλμα* είναι :

$z_c$= 24,16484 mm

Η απόσταση από το *εφελκυόμενο πέλμα* είναι :

$z_τ$= 14,13516 mm

ψ= -0,5849 : 0 > ψ > -1

$K_σ$= 14,8357

$λ_ρ$= 0,5801 < 0,673

ρ= 1,0000 ≤ 1,0

$b_{eff}$ = 28,0262 mm

$b_{eff1}$ = 11,2105 mm :(από θλιβόμενο)

$b_{eff2}$ = 16,8157 mm

**§ Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής**

r= 33,2096 mm :( ενεργό κομμάτι προς το εφελκυόμενο)

$A_{eff}$= 60,144 $mm^2$

θέση κέντρου βάρους ( απόσταση από το κάτω πέλμα ) :

$z_s$= 14,1352 mm

Ροπή αδράνειας : $I_{eff}$= 12941,71 $mm^4$

Ροπή αντίστασης : $W_{eff,com}$ = 535,5596 $mm^3$

$W_{eff,ten}$= 915,5686 $mm^3$

Ροπή αντοχής : $M_{c,Rd}$ = 12,58565 kNcm

ή $M_{c,Rd}$ = 0,1259 kNm

Ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο : $M_{c,Rd}$ = 1,9665 kNm/m

*Έλεγχος ροπής ανοίγματος :*

$M_{f,Sd}$= 5,00579 kNm/m > $M_{c,Rd}$ = 1,9665 kNm/m

### 3.3.4 Έλεγχος τέμνουσα στήριξης

$f_{yb}$= 235 και ε= 1,00

$f_y$= 235 και $γ_{M0}$= 1,00

$λ_w$= 0,734458 < 0,83

$f_{bv}$= 13,63 kN/cm$^2$

$V_{b,Rd}$= 4,238116 kN

Η πλαστική αντοχή είναι :

$V_{pl,Rd}$ = 4,218754 kN

επομένως ισχύει :

$V_{w,Rd}$= min{ $V_{b,Rd}$ ; $V_{pl,Rd}$ } = 4,218754 kN

Τέμνουσα αντοχής ανά τρέχον μέτρο :

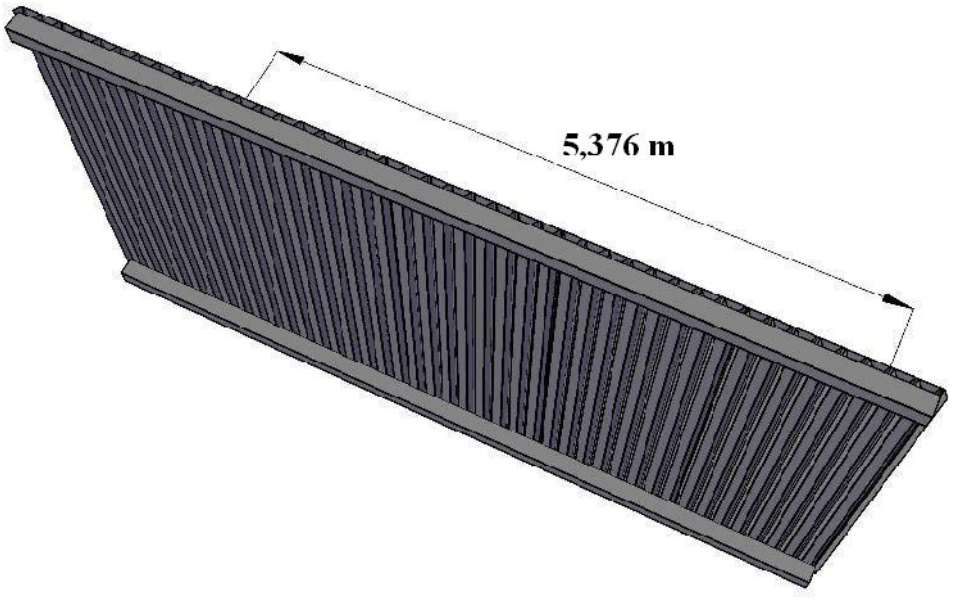
$V_{w,Rd}$= 65,91803 kN/m

*Έλεγχος τέμνουσας στήριξης :*

$V_{Sd}$= 6,67439 kN/m < $V_{w,Rd}$= 65,9180 kN/m

## 3.4 Έλεγχος της κατασκευής

Η κατασκευή του πατώματος θα έχει την μορφή και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σχήματος 3.7. Για διευκόλυνση των πράξεων θα πραγματοποιηθεί η επίλυση για το τμήμα της κατασκευής πλάτους *0,896mm* (δηλαδή θα χωρίσουμε την κατασκευή σε έξι τμήματα). Η παραπάνω διαδικασία δεν αφορά στην μελέτη των τετραγωνικών κοιλοδοκών, όπου θα χρησιμοποιηθεί ολόκληρη η κατασκευή.




Σχήμα 3.8: Συνολικό μήκος κατασκευής .

### 3.4.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη

Το εμβαδόν του τραπεζοειδούς φύλλου καθώς και το ίδιο του βάρος, όπως υπολογίστηκε σε προηγούμενη ενότητα είναι :

$$A_p = 939{,}75\,{}^{mm^2}/_{m} \qquad \text{και} \quad g_t = 0{,}0737\,{}^{kN}/_{m^2}$$

Το εμβαδόν και το ίδιο βάρος της επίπεδης λαμαρίνας υπολογίζονται ως εξής :

$$A_{ls} = \frac{t_{ls} * b_{t,ar}}{b_{t,ar}} = \frac{1{,}50mm * 128{,}0mm}{0{,}128m} = 1500{,}0\,{}^{mm^2}/_{m}$$

$$g_{ls} = A_{ls} * \gamma_s = 1500{,}0 * 10^{-6}\,{}^{m^2}/_{m} * 78{,}50\,{}^{kN}/_{m^3} = 0{,}118\,{}^{kN}/_{m^2}$$

Τα φορτία σχεδιασμού είναι :

$$q_d = 1{,}35 * (g_t + g + g_{ls}) + 1{,}5 * q = 1{,}35 * (0{,}0737 + 1{,}00 + 0{,}118)\,{}^{kN}/_{m^2} + +1{,}50 * 2{,}00\,{}^{kN}/_{m^2} = 4{,}609\,{}^{kN}/_{m^2}$$

Από την επίλυση προκύπτουν τα παρακάτω εντατικά μεγέθη :

- Ροπή ανοίγματος :

$$M_{f,Sd} = -0{,}125 * q_d * L^2 = -0{,}125 * 4{,}609\,{}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00^2 m^2 = -5{,}19\ {}^{kNm}/_{m}$$

- Τέμνουσα στήριξης :

$$V_{Sd} = 0{,}50 * q_d * L = 0{,}50 * 4{,}609\,{}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00\ m = 6{,}91\ {}^{kN}/_{m}$$

Η θέση κέντρου βάρους πλήρους διατομής (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι :

$$z_{cons,t} = \frac{t_{ls} * \frac{1}{2} * b_{a,ls} * z_{ls} + t_t * b_{tw} * h_t * \frac{1}{2} + t_{t+ls} * \frac{1}{2} * b_{t,u} * z_{t+ls}}{t_t * b_{tw} + t_{ls} * \frac{1}{2} * b_{a,ls} + t_t * \frac{1}{2} * b_{t,d} + t_{t+ls} * \frac{1}{2} * b_{t,u}} =$$

$$= \frac{1{,}5mm * \frac{1}{2} * 109{,}0mm * 39{,}4mm + 0{,}70mm * 44{,}42mm * 38{,}30mm * \frac{1}{2}}{0{,}70 * 44{,}42mm + 1{,}50 * \frac{1}{2} * 109{,}00mm + 0{,}70 * \frac{1}{2} * 64{,}0mm + 2{,}20 * \frac{1}{2} * 19{,}0mm} +$$

$$+ \frac{2{,}20mm * \frac{1}{2} * 19{,}00mm * 39{,}05mm}{0{,}70 * 44{,}42mm + 1{,}50 * \frac{1}{2} * 109{,}00mm + 0{,}70 * \frac{1}{2} * 64{,}0mm + 2{,}20 * \frac{1}{2} * 19{,}0mm} = 29{,}668mm$$

Όπου $t_{ls}$ το πάχος του επίπεδου ελάσματος, $z_{ls}$ η απόσταση του κέντρου βάρους της επίπεδου ελάσματος από το κέντρο βάρους του κάτω πέλματος του τραπεζοειδούς, $t_{t+ls}$ το άθροισμα του πάχους της επίπεδης λαμαρίνας και του τραπεζοειδούς στην περιοχή ένωσής τους, $z_{t+ls}$ η απόσταση του κέντρου βάρους του τμήματος πάχους $t_{t+ls}$ από το κ.β. του κάτω πέλματος του τραπεζοειδούς και $b_{a,ls}$ το μήκος του τμήματος του επίπεδου ελάσματος το οποίο είναι ίσο με :

$$b_{a,ls} = b_{t,ar} - 2 * \frac{b_{t,u}}{2} = 128{,}0mm - 2 * \frac{19{,}00mm}{2} = 109{,}00mm$$

$$z_{ls} = h_c + \frac{1}{2} * t_c + \frac{1}{2} * t_{ls} = 38{,}30mm + \frac{1}{2} * 0{,}70mm + \frac{1}{2} * 1{,}50mm = 39{,}40mm$$

$$z_{c+ls} = h_c - \frac{1}{2} * t_c + \frac{1}{2} * (t_{ls} + t_c) = 38{,}30mm - \frac{1}{2} * 0{,}7mm + \frac{1}{2} * (1{,}5mm + 0{,}7mm)$$
$$= 39{,}05mm$$

Στον υπολογισμό της θέσης κέντρου βάρους της κατασκευής το πάχος της εποξειδικής κόλλας αγνοήθηκε.

### 3.4.2 Έλεγχος λειτουργικότητας κατασκευής

Τα φορτία σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι :

- Συνολικό φορτίο :

$$q_{cons,ser} = (g + g_t + g_{ls}) + q =$$
$$= \left(1{,}00\,{}^{kN}/_{m^2} + 0{,}0737\,{}^{kN}/_{m^2} + 0{,}118\,{}^{kN}/_{m^2}\right) + 2{,}00\,{}^{kN}/_{m^2} = 3{,}192\,{}^{kN}/_{m^2}$$

- Μεταβλητό φορτίο :

$$q_{cons,2,ser} = q = 2{,}00\,{}^{kN}/_{m^2}$$

Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας χρησιμοποιείται η ροπή αδρανείας της πλήρους διατομής :

$$I_{c+ls,g} = \frac{1}{0{,}50 * b_{t,ar}} * \left[t_t * \frac{1}{2} * b_{t,d} * z_{const}{}^2 + t_{t,hc} * \frac{h_t{}^3}{12} + t_{t,hc} * h_t * \left(z_{const} - \frac{h_t}{2}\right)^2 + \right.$$
$$\left. + t_{ls} * \frac{1}{2} * b_{a,ls} * \left(z_{ls} - z_{const}\right)^2 + t_{t+ls} * \frac{1}{2} * b_{t,a} * \left(z_{t+ls} - z_{const}\right)^2\right] =$$
$$= \frac{1}{0{,}064mm} * \left[0{,}70mm * \frac{1}{2} * 64{,}00mm * 29{,}668^2mm^2 + 0{,}812mm * \frac{38{,}30^3mm^3}{12} + \right.$$
$$\left. + 0{,}815mm * 38{,}30mm * \left(29{,}668mm - \frac{38{,}30mm}{2}\right)^2 + 1{,}50mm * \frac{1}{2} * 109{,}0mm * \right.$$
$$\left. * (39{,}4mm - 29{,}668mm)^2 + 2{,}20mm * \frac{1}{2} * 19{,}0mm * (39{,}05mm - 29{,}668mm)^2\right] =$$
$$= 571147{,}81\,{}^{mm^4}/_{m} = 57{,}115\,{}^{cm^4}/_{m}$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω συνολικού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{cons,ser} * L^4}{184{,}60 * E * I_{c+ls,g}} = \frac{3{,}192 * 10^{-2}\,{}^{kN}/_{cm^2} * (300)^4 cm^4}{184{,}6 * 21000\,{}^{kN}/_{cm^2} * 57{,}11\,{}^{cm^4}/_{m}} = 1{,}17\ cm < \frac{L}{250}$$
$$= \frac{3{,}00 * 100cm}{250} = 1{,}20cm$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{cons,2,ser} * L^4}{184,6 * E * I_{t+ls,g}} = \frac{2,00 * 10^{-2}\, kN/_{cm^2} * (300)^4 cm^4}{184,60 * 21000\, kN/_{cm^2} * 57,11\, cm^4/_m} = 0,73\ cm < \frac{L}{300}$$
$$= \frac{3,00 * 100cm}{300} = 1,00cm$$

### 3.4.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος κατασκευής

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή της κατασκευής μέσω του ελέγχου της διατμητικής υστέρησης για θετικές ροπές σε πλάτος αναφοράς :

$b = 0,50 * b_{t,ar} = 0,50 * 128,00mm = 64,00mm$

Η απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού είναι :

$L_m = L_e = 1,00 * L = 1,00 * 3,00m = 3,00m$

#### 3.4.3.1 Εφελκυόμενο κάτω πέλμα

Το πλάτος του κάτω πέλματος που μετέχει στην διατμητική υστέρηση είναι :

$b_{t,d} = 64,00mm$

Το ενεργό πλάτος για την περίπτωση της διατμητικής υστερήσεως υπό ελαστικές συνθήκες θα πρέπει να προσδιορίζεται από :

$b_{eff} = \beta * b_0$

Ο μειωτικός συντελεστής $\beta$ , υπολογίζεται με βάση τον αντίστοιχο πίνακα, ως εξής :

$$\kappa = \frac{b_{t,d}}{L_m} = \frac{64,00 * 10^{-3} m}{3,00m} = 0,021$$

$$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,40 * \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,40 * 0,021^2} = 0,0997$$

Το ενεργό εφελκυόμενο κάτω πέλμα είναι :

$b_{eff,d} = \beta * b_{t,d} = 0,0997 * 64,00mm = 63,82mm$

Επομένως λόγω συμμετρίας ισχύει ότι :

$$b_{eff,d,1} = b_{eff,d,2} = \frac{b_{eff,d}}{2} = \frac{63,82mm}{2} = 31,91mm$$

#### 3.4.3.2 Θλιβόμενο άνω πέλμα

Στη διατμητική υστέρηση μετέχουν το επίπεδο έλασμα και το άνω πέλμα του τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου. Για διευκόλυνση των πράξεων τα θλιβόμενα πέλματα, τα χωρίζουμε σε δύο τμήματα. Αρχικά, το τμήμα στην περιοχή κόλλησης του τραπεζοειδούς με το επίπεδο έλασμα με πλάτος $b_{t,u} = 19,00mm$ , και έπειτα τμήμα το οποίο αποτελείται μονάχα από το επίπεδο έλασμα με πλάτος $b_{a,ls} = 109,00mm$.

Ο υπολογισμός του ενεργού τμήματος του πέλματος με $b_{t,u} = 19,00mm$ υπολογίζεται παρακάτω.

Επειδή $z_{cons,t} = 29,668mm > z_{cons,c} = (z_{ls} - z_{cons,t}) = 9,732mm$ , το εφελκυόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το θλιβόμενο οπότε ισχύει :

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{f_{yb}}{\gamma_{M1}} * \frac{z_{cons,c}}{z_{cons,t}} \Leftrightarrow \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb}/\gamma_{M1}} = \frac{z_{cons,c}}{z_{cons,t}} = \frac{9,732mm}{29,668mm} = 0,328$$

Το πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη, οπότε ισχύει ότι το $\psi = 1,00$ άρα και $K_\sigma = 4,00$.

Η ανηγμένη λυγηρότητα υπολογίζεται ως εξής :

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{b_{t,u}}{t_{stiff}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{19,00mm}{2,20mm}}{28,4 * 1 * \sqrt{4}} = 0,152$$

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p * \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}} = \bar{\lambda}_p * \sqrt{\frac{z_{cons,c}}{z_{cons,t}}} = 0,152 * \sqrt{0,328} = 0,087 < 0,673$$

Υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης $\rho$ :Επειδή $\bar{\lambda}_{p,red} = 0,087 < 0,673$ τότε ισχύει ότι : $\rho = 1,00$

Ο μειωτικός συντελεστής $\beta$ , υπολογίζεται με βάση τον αντίστοιχο πίνακα, ως εξής :

$$\kappa = \frac{b_{t,u}}{L_m} = \frac{19,00 * 10^{-3}m}{3,00m} = 0,0063$$

Επειδή $\kappa = 0,0063 < 0,02$ , τότε $\beta = 1,00$

Επιπλέον ισχύουν τα εξής :

$$\delta = \frac{2 * b_0}{t} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} \cong \frac{\frac{b_0}{t}}{14,95 * \varepsilon} = \frac{\frac{19,00mm}{2,20mm}}{14,95 * 1} = 0,578 \geq 1,0$$

Επομένως $\delta = 1,00$.

$$\eta = \frac{\left(\frac{b_0}{L_m}\right)}{\delta} = \frac{0,0063}{1,00} = 0,0063$$

$$\rho_L = \beta^\eta * \rho = 1,00^{0,0063} * 1,00 = 1,00$$

Η ενεργός διατομή του πέλματος δίδεται ως εξής :

$$b_{eff,u} = \rho_L * b_{t,u} = 1,00 * 19,00mm = 19,00mm$$

Επομένως λόγω συμμετρίας ισχύει ότι :

$$b_{eff,u,1} = b_{eff,u,2} = \frac{b_{eff,u}}{2} = \frac{19,00mm}{2} = 9,50mm$$

Ο υπολογισμός του ενεργού τμήματος του πέλματος με $b_{a,ls} = 109,00mm$ υπολογίζεται παρακάτω.

Το επίπεδο έλασμα χάλυβα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη, οπότε ισχύει ότι το $\psi = 1,00$ άρα και $K_\sigma = 4,00$.

Η ανηγμένη λυγηρότητα υπολογίζεται ως εξής :

$$\bar{\lambda}_{\rho} = \frac{\frac{b_{a,ls}}{t_{ls}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{K_{\sigma}}} = \frac{\frac{109,00m}{1,50mm}}{28,4 * 1 * \sqrt{4}} = 1,279 > 0,673$$

Υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης $\rho$ :
Επειδή $\bar{\lambda}_{\rho,red} > 0,673$ τότε ισχύει ότι :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{\rho} - 0,055 * (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_{\rho}^{\ 2}} = \frac{1,279 - 0,055 * (3 + 1,0)}{1,279^2} = 0,647 \leq 1,00$$

Ο μειωτικός συντελεστής $\beta$ , υπολογίζεται με βάση τον αντίστοιχο πίνακα, ως εξής :

$$\kappa = \frac{b_{a,ls}}{L_m} = \frac{109,00 * 10^{-3} m}{3,00m} = 0,036$$

Επειδή $0,02 < \kappa = 0,063 \leq 0,70$ , τότε το $\beta$ υπολογίζεται ως εξής :

$$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,40 * \kappa^2} = \frac{1}{1 + 6,40 * 0,036^2} = 0,992$$

Επιπλέον ισχύουν τα εξής :

$$\delta = \frac{2 * b_0}{t} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} \cong \frac{\frac{b_{a,ls}}{t_{ls}}}{14,95 * \varepsilon} = \frac{\frac{109,00mm}{1,50mm}}{14,95 * 1,0} = 4,861 \geq 1,00$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{b_{a,ls}}{L_m}\right)}{\delta} = \frac{0,0363}{4,861} = 0,0075$$

$$\rho_L = \beta^{\eta} * \rho = 0,992^{0,0075} * 0,647 = 0,647$$

Η ενεργός διατομή του πέλματος δίδεται ως εξής :

$$b_{eff,u}^{\ \prime} = \rho_L * b_{a,ls} = 0,646 * 109,00mm = 70,52mm$$

Επομένως λόγω συμμετρίας ισχύει ότι :

$$b_{eff,u,1}^{\ \prime} = b_{eff,u,2}^{\ \prime} = \frac{b_{eff,u}^{\ \prime}}{2} = \frac{70,52mm}{2} = 35,26mm$$

### 3.4.3.3 Γεωμετρία με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό

Το εμβαδόν της διατομής με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό δίδεται ως :

$$A = t_t * b_{tw} + t_{ls} * \frac{1}{2} * b_{eff,u}^{\ \prime} + t_{t+ls} * \frac{1}{2} * b_{eff,u} + t_t * \frac{1}{2} * b_{eff,d} =$$

$$= 0,70mm * 44,42mm + 1,50mm * \frac{1}{2} * 70,52mm + 2,20mm * \frac{1}{2} * 19,00mm +$$

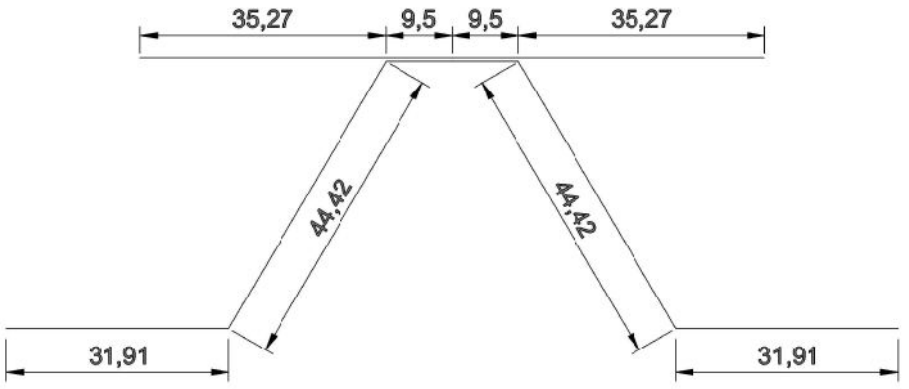
$$+0,70mm * \frac{1}{2} * 63,82mm = 127,22\ mm^2$$

Η θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) υπολογίζεται ως εξής :

$$z_{const} = \frac{t_t * b_{cw} * \frac{1}{2} * h_t + t_{ls} * \frac{1}{2} * b_{eff,ls} * z_{ls} + t_{c+ls} * \frac{1}{2} * b_{eff,ls} * z_{c+ls}}{A} =$$

$$= \left(\frac{1}{127,22mm^2}\right) * \left[0,7mm * 44,42mm * \frac{1}{2} * 38,3 + 1,5mm * \frac{1}{2} * 70,52mm * 39,40mm\right.$$

$$\left. +2,20mm * \frac{1}{2} * 19,00mm * 39,05mm\right] = 27,48mm$$




Σχήμα 3.9: Διατομή με ενεργά πέλματα και πλήρη κορμό .

Στο κεκλιμένο στοιχείο ισχύει :

- Απόσταση από το εφελκυόμενο πέλμα :

$$b_t \cong \frac{z_{const}}{sin\varphi} = \frac{27,48mm}{sin(1,0396)} = 31,87mm$$

- Απόσταση από το θλιβόμενο πέλμα :

$$b_c \cong \frac{h_t - z_{const}}{sin\varphi} = \frac{38,30mm - 27,48mm}{sin(1,0396)} = 12,55mm$$

### 3.4.3.4 Ενεργός διατομή κορμού

Το εφελκυόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το θλιβόμενο επειδή ισχύει :

$$z_{const} = 27,48mm > z_{cons,c} = z_{ls} - z_{cons,t} = 39,40mm - 27,48mm = 11,92mm$$

Ο λόγος $\psi$ υπολογίζεται ως εξής :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{z_{cons,t}}{z_{cons,c}} = \frac{27,48mm}{-11,92mm} = -2,305$$

Όπου $(3 + \psi) = (3 - 2,305) = 0,695 \geq 0$

Επομένως για το $\psi$ ισχύει ότι $-1 > \psi = -2,305 > -3$, άρα για το συντελεστή κύρτωση $K_\sigma$ έχουμε ότι :

$$K_\sigma = 5,98 * (1 - \psi)^2 = 5,98 * (1 + 2,305)^2 = 65,32$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα δίδεται ως :

$$\bar{\lambda}_p = 1{,}052 * \frac{b_p}{t_t} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b_{tw}}{t_t}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{44{,}42mm}{0{,}70mm}}{28{,}4 * 1 * \sqrt{65{,}32}} = 0{,}276$$

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p * \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}} = \bar{\lambda}_p * \sqrt{\frac{z_{cons,c}}{z_{cons,t}}} = 0{,}276 * \sqrt{\frac{11{,}92mm}{27{,}48mm}} = 0{,}182 \leq 0{,}673$$

Επειδή $\bar{\lambda}_{p,red} \leq 0{,}673$ , ισχύει ότι ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης είναι :

$\rho = 1{,}00$

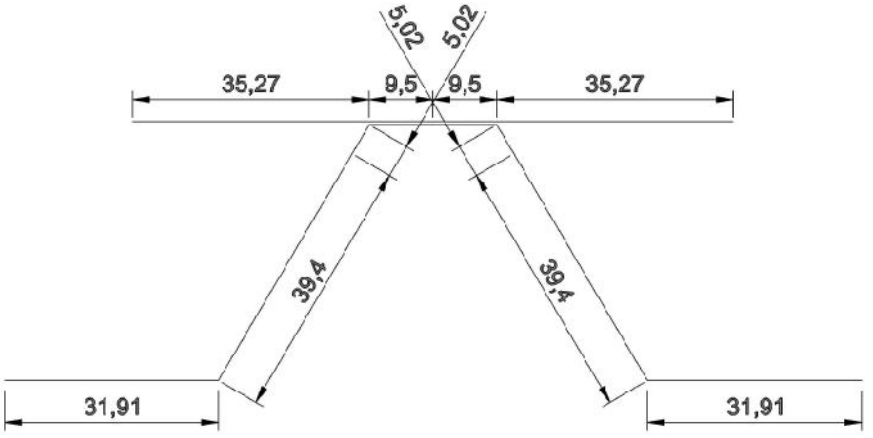
Σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού ισχύει για το ενεργό πλάτος του κορμού της διατομής :

$$b_{eff} = \rho * b_c = 1{,}00 * 12{,}55mm = 12{,}55mm$$
$$b_{e1} = 0{,}40 * b_{eff} = 0{,}40 * 12{,}55mm = 5{,}02mm$$
$$b_{e2} = 0{,}60 * b_{eff} = 0{,}60 * 12{,}55mm = 7{,}53mm$$

Όπου το $b_{e1} = b_{eff1}$ , είναι το ενεργό κεκλιμένο τμήμα του κορμού προς το θλιβόμενο άνω πέλμα.

Ο υπολογισμός του ενεργού, κεκλιμένου τμήματος, του κορμού προς το εφελκυόμενο κάτω πέλμα πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία :

$$b_{eff2} = b_{tw} - b_{e1} - (b_c - b_{e1} - b_{e2}) =$$
$$44{,}42mm - 5{,}02mm - (12{,}55mm - 5{,}02mm - 7{,}53mm) = 39{,}40mm$$




Σχήμα 3.10: Ενεργός διατομή .

### 3.4.3.5 Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής

Ο υπολογισμός των αδρανειακών μεγεθών της ενεργούς διατομής πραγματοποιούνται με πλάτος αναφοράς $b = 0{,}50 * b_{t,ar} = 0{,}50 * 128{,}00mm = 64{,}00mm$

Το εμβαδόν της ενεργούς διατομής είναι :

$$A_{eff} = t_t * (b_{eff1} + b_{eff2} + b_{eff,d,1}) + t_{ls} * b_{eff,u,1} + t_{t+ls} * b_{eff,u,1} =$$

$$= 0{,}70mm * (5{,}02mm + 39{,}40mm + 31{,}91mm) + 1{,}50mm * 35{,}26mm +$$
$$+2{,}20mm * 9{,}50mm = 127{,}22\ mm^2$$

Η θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι :

$$z_{const} = \left(\frac{1}{A_{eff}}\right) * \left[t_c * b_{eff2} * \frac{1}{2} * sin\varphi * b_{eff2} + t_c * b_{eff1} * \left(h_c - sin\varphi * b_{eff1} * \frac{1}{2}\right) + \right.$$
$$\left. + t_{ls} * b_{eff,u,1}{}' * z_{ls} + t_{t+ls} * b_{eff,u,1} * z_{t+ls}\right] =$$
$$\left(\frac{1}{127{,}22mm^2}\right) * \left[0{,}7mm * \frac{39{,}40^2}{2} mm^2 * sin(1{,}0396) + 1{,}50mm * 35{,}26mm * 39{,}40\right.$$
$$\left. + 0{,}70mm * 5{,}02mm * \left(38{,}30mm - \frac{1}{2} * 5{,}02mm * sin(1{,}0396)\right) + \right.$$
$$\left. + 2{,}20mm * 39{,}05mm * 9{,}50 = 27{,}48mm\right.$$

Η ροπή αδρανείας της ενεργούς διατομής υπολογίζεται ως εξής :

$$I_{eff} = t_c * b_{eff,d,1} * z_{const}{}^2 + t_{c,hc} * \frac{(sin\varphi * b_{eff2})^3}{12} + t_{c,hc} * \frac{(sin\varphi * b_{eff1})^3}{12} +$$
$$+ t_{c,hc} * (sin\varphi * b_{eff2}) * \left[z_{const} - \frac{(sin\varphi * b_{eff2})}{2}\right]^2 + t_{ls} * b_{eff,u,1}{}' * (z_{const} - z_{ls})^2 +$$
$$+ t_{c,hc} * (sin\varphi * b_{eff1}) * \left[h_c - z_{const} - \frac{(sin\varphi * b_{eff1})}{2}\right]^2 +$$
$$+ t_{t+ls} * b_{eff,u,1} * (z_{const,t} - z_{t+ls})^2 =$$
$$= 0{,}70mm * 31{,}91mm * 27{,}48^2 mm^2 + 0{,}812mm * \frac{[sin(1{,}0396) * 39{,}40mm]^3}{12} +$$
$$+ 0{,}812 * \frac{[sin(1{,}0396) * 5{,}02mm]^3}{12} + 2{,}2mm * 9{,}5mm * (27{,}48mm - 39{,}05mm)^2 +$$
$$+ 0{,}812mm * [sin(1{,}0396) * 39{,}40mm] * \left[27{,}48mm - \frac{[sin(1{,}0396) * 39{,}40mm]}{2}\right]^2 +$$
$$+ 0{,}812 * [sin(1{,}0396) * 5{,}02mm] * \left[38{,}30mm - 27{,}48mm - \frac{sin(1{,}0396) * 5{,}02}{2}\right]^2 +$$
$$+ 1{,}50mm * 35{,}26mm * (27{,}48mm - 39{,}40mm)^2 = 33140{,}10\ mm^4$$

Η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής είναι :

$$W_{eff,com} = \frac{I_{eff}}{z_\alpha} = \frac{33140{,}10mm^4}{(39{,}40mm - 27{,}48mm)} = 2780{,}21mm^3$$
$$W_{eff,ten} = \frac{I_{eff}}{z_d} = \frac{33140{,}10mm^4}{27{,}48mm} = 1205{,}97mm^3$$

Επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η ροπή αντοχής ανοίγματος της διατομής του πατώματος:

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y * W_{eff,com}}{\gamma_M} = \frac{23{,}5\ {}^{kN}/_{cm^2} * (2780{,}21/1000)cm^3}{1{,}0} = 65{,}33\ kNcm$$

Η ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο είναι :

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{0{,}50 * b_{t,ar}} = \frac{65{,}33 * 10^{-2} kNm}{0{,}50 * 0{,}128m} = 10{,}21\, {}^{kNm}/_{m}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο ροπής ανοίγματος ισχύει :

$$M_{f,Sd} = 5{,}19\, {}^{kNm}/_{m} < M_{c,Rd} = 10{,}21\, {}^{kNm}/_{m}$$

### 3.4.4 Έλεγχος τέμνουσας στήριξης

Η ανηγμένη λυγηρότητα υπολογίζεται ως :

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346 * \frac{b_{tw}}{t} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \cong \frac{\frac{b_{tw}}{t}}{86{,}4 * \varepsilon} = \frac{\frac{44{,}42mm}{0{,}70mm}}{86{,}4 * 1} = 0{,}734 \quad \text{,όπου} \quad \bar{\lambda}_w < 0{,}83$$

Επομένως σύμφωνα με πίνακα του κανονισμού η οριακή τάση κύρτωσης λόγω διάτμησης είναι :

$$f_{bv} = \frac{0{,}58 * f_{yb}}{1{,}00} = \frac{0{,}58 * 23{,}5\, {}^{kN}/_{cm^2}}{1{,}00} = 13{,}63\, {}^{kN}/_{cm^2}$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού είναι :

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{sin\varphi} * t * f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{38{,}30 * 10^{-1} cm}{sin(1.0396)} * 0{,}70 * 10^{-1} cm * 13{,}63\, {}^{kN}/_{cm^2}}{1{,}0} = 4{,}238\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \left(\frac{h_w}{sin\varphi}\right) * t * \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \left[\frac{38{,}30 * 10^{-1} cm}{sin(1.0396)}\right] * 0{,}70 * 10^{-1} cm * \frac{\left(\frac{23{,}5\, {}^{kN}/_{cm^2}}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} =$$

$$= 4{,}219\ kN$$

Άρα ισχύει :

$$V_{w,Rd} = min\left(V_{b,Rd}\,; V_{pl,Rd}\right) = min(3{,}507kN\,; 3{,}623\ kN) = 4{,}219\ kN = V_{pl,Rd}$$

Η τέμνουσα αντοχής ανά τρέχον μέτρο είναι :

$$V_{w,Rd} = \frac{V_{pl,Rd}}{0{,}50 * b_{t,ar}} = \frac{4{,}219kN}{0{,}50 * 0{,}128mm} = 65{,}92\, {}^{kN}/_{m}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο τέμνουσας στήριξης ισχύει :

$$V_{Sd} = 6{,}91\ {}^{kN}/_{m} \leq V_{w,Rd} = 65{,}92\, {}^{kN}/_{m}$$

### 3.4.5 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι τόσο ο έλεγχος τέμνουσας στήριξης όσο και ο έλεγχος ροπής ανοίγματος και λειτουργικότητας επαληθεύονται, επομένως σύμφωνα με τους ελέγχους αυτούς η κατασκευή του πατώματος μπορεί να φέρει τα φορτία της μελέτης. Παρακάτω θα πραγματοποιηθούν πιο λεπτομερείς έλεγχοι όσον αφορά τη λειτουργικότητα της κατασκευής

## 3.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του EXCEL

### 3.5.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ίδιο βάρος τραπ/ούς χαλ/λου, | $g_t$= | 0,07377041 | kN/m$^2$ |
| Ίδιο βάρος επ/δου ελάσματος, | $g_{ls}$= | 0,11775 | kN/m$^2$ |
| Κινητά φορτία : | q = | 2,00 | kN/m$^2$ |
| Μόνιμα φορτία : | g = | 1,00 | kN/m$^2$ |
| *Συνολικό Βάρος :* | $G_{SUM}$ = | 3,19152041 | kN/m$^2$ |

Συντελεστές ασφαλείας : $\gamma_G$ = 1,35

$\gamma_Q$ = 1,50

| | | | |
|---|---|---|---|
| Φορτία σχεδιασμού : | $q_d$= | 4,60855255 | kN/m$^2$ |
| Ροπή ανοίγματος : | $M_{f,Sd}$= | 5,18462162 | kNm/m |
| Μέγιστη τέμνουσα : | $V_{Sd}$= | 6,91282883 | kN/m |

*Θέση κέντρου βάρους* , κατασκευής , πλήρους διατομής από το *κάτω πέλμα* :

$z_{c,ms}$= 29,668414 mm

### 3.5.2 Έλεγχος λειτουργικότητας

| | | | |
|---|---|---|---|
| Συνολικό φορτίο : | $g_{ser}$ = | 3,19152 | kN/m$^2$ |
| Μεταβλητό φορτίο : | $q_{2,ser}$ = | 2,00 | kN/m$^2$ |

Ροπή αδράνειας πλήρους διατομής :

$I_{c,g}$ = 571014,645 mm$^4$/m

ή $I_{c,g}$ = 57,1014645 cm$^4$/m

*Βέλος λόγω συνολικού φορτίου :*

$\delta_{c,max}$ = 1,16784285 < L/250 = 1,20 cm

*Βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου :*

$\delta_{c,2}$ = 0,73184107 < L/300 = 1,00 cm

### 3.5.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή του χαλ/λου σε πλάτος αναφοράς :

$b_{ref}$= 64,00 mm

**§ Εφελκυόμενο κάτω πέλμα**

απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 3,00 m

πλάτος πέλματος που μετέχει στη διατμητική υστέρηση : $b_o$ = 64,00

$b_0/L_m$ = 0,021333 > 0,02 & ≤ 0,70

$\beta_1$ = *0,9971*

$b_{eff}$= 63,81413 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 31,90706 mm

**§ θλιβόμενα άνω πέλματα**

απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 3,00 m

πλάτος πέλματος που μετέχει στη διατμητική υστέρηση , $b_o$ = 19,00 mm

θέση κεντρου βάρους από το κάτω πέλμα :

$b_t$= 29,66841 mm

άρα ισχύει : $b_c$= 9,731586 mm

επομένως έχομε bc < bt , άρα ισχύει :

$\sigma_{com,Ed} / (f_{yb} / \gamma_{M1})$= $b_c / b_t$ = 0,328012

τα άνω πέλματα υπόκεινται σε ομοιόμορφη θλίψη , οπότε :

ψ= 1,00 και $K_\sigma$= 4,0

$f_y$ = 235 και ε= 1,00

$\gamma_M$= 1,00

στα σημεία κόλλησης ελάσματος και χαλυβδόφυλλου έχομε *πάχος* :

$t_{t,s}$= 2,20 mm

$\lambda_p$= 0,152049

$\lambda_{\rho,red}$= 0,087082 ≤ 0,673

$\rho$= *1,000000* ≤ 1,0

$b_0/L_m$ = 0,006333 ≤ 0,02

$\beta_1$= *1,000000*

δ= 1,00000 ≥ 1,0

η= 0,006333

$p_L$= 1,0000

$b_{eff}$ = 19,00 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 9,50 mm

πλάτος πέλματος που μετέχει στη διατμητική υστέρηση , $b_o$ = 109,00

στο πάτημα της λαμαρίνας έχομε πάχος ~ λαμαρίνας :

$t_s$= 1,5 mm

$\lambda_\rho$= 1,279343 > 0,673

$\rho$= *0,64724* ≤ 1,0

$b_0/L_m$ = 0,036333 > 0,02 & ≤ 0,70

$\beta_1$= *0,99162*

δ= 4,860647 ≥ 1,0

η= 0,007475

$p_L$= 0,647195

$b_{eff}$ ′= 70,54429 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$′= $b_{eff2}$′= 35,27215 mm

**§ Γεωμετρία με ενεργά πέλματα**

εμβαδόν διατομής: A= 127,2372 $mm^2$

θέση κέντρου βάρους ( απόσταση από το *κάτω πέλμα*_):

$z_s$= 27,47765 mm

Στο κεκλιμένο στοιχείο :

από το εφελκυόμενο πέλμα :

$b_t$= 31,86837 mm

& από το θλιβόμενο πέλμα :

$b_c$= 12,55167 mm

**§ Ενεργός διατομή κορμού**

Η απόσταση από το *θλιβόμενο πέλμα* είναι :

$z_c$ = 11,92235 Mm

Η απόσταση από το *εφελκυόμενο πέλμα* είναι :

$z_t$ = 27,47765 mm

| | | |
|---|---|---|
| ψ= | -2,30472 | :-1 <ψ< -3 |
| $K_\sigma$= | *65,3086* | |
| $\lambda_\rho$= | 0,276489 | |
| $\lambda_{\rho,red}$= | 0,182125 | ≤ 0,673 |
| $\rho$= | *1,000000* | ≤ 1,0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $b_{eff}$ = | 12,55167 | mm | |
| $b_{eff1}$ = | 5,020669 | mm | *:(από θλιβόμενο πέλμα)* |
| $b_{eff2}$ = | 7,531004 | mm | |

**§ Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής**

| | | | |
|---|---|---|---|
| r= | 39,39937 | mm | *:(ενεργό προς εφελκυόμενο πέλμα_)* |
| $A_{eff}$= | 127,2372 | $mm^2$ | |

θέση κέντρου βάρους ( απόσταση από το *κάτω* πέλμα ):

$z_s$= 27,47765 mm

Ροπή αδράνειας : $I_{eff}$= 33140,1 $mm^4$

Ροπή αντίστασης : $W_{eff,com}$= 2779,662 $mm^3$

$W_{eff,ten}$= 1206,074 $mm^3$

Ροπή αντοχής : $M_{c,Rd}$ = 65,32206 kNcm

ή $M_{c,Rd}$ = 0,6532 kNm

Ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο : $M_{c,Rd}$ = 10,2066 kNm/m

*Έλεγχος ροπής ανοίγματος :*

$M_{f,Sd}$= 5,184622 kNm/m < $M_{c,Rd}$ = 10,2066 kNm/m

### 3.5.4 Έλεγχος τέμνουσα στήριξης

$f_{yb}$= 235 και ε= 1,00

$f_y$= 235 και $\gamma_{M0}$= 1,00

$\lambda_w$= 0,734458 < 1,40 & > 0,83

$f_{bv}$= 13,63 kN/cm$^2$

$V_{b,Rd}$= 4,238116 kN

Η πλαστική τέμνουσα αντοχή είναι :

$V_{pl,Rd}$ = 4,218754 kN

$V_{w,Rd}$= min{ $V_{b,Rd}$ ; $V_{pl,Rd}$ } = 4,218754 kN

Τέμνουσα αντοχής ανά τρέχον μέτρο :

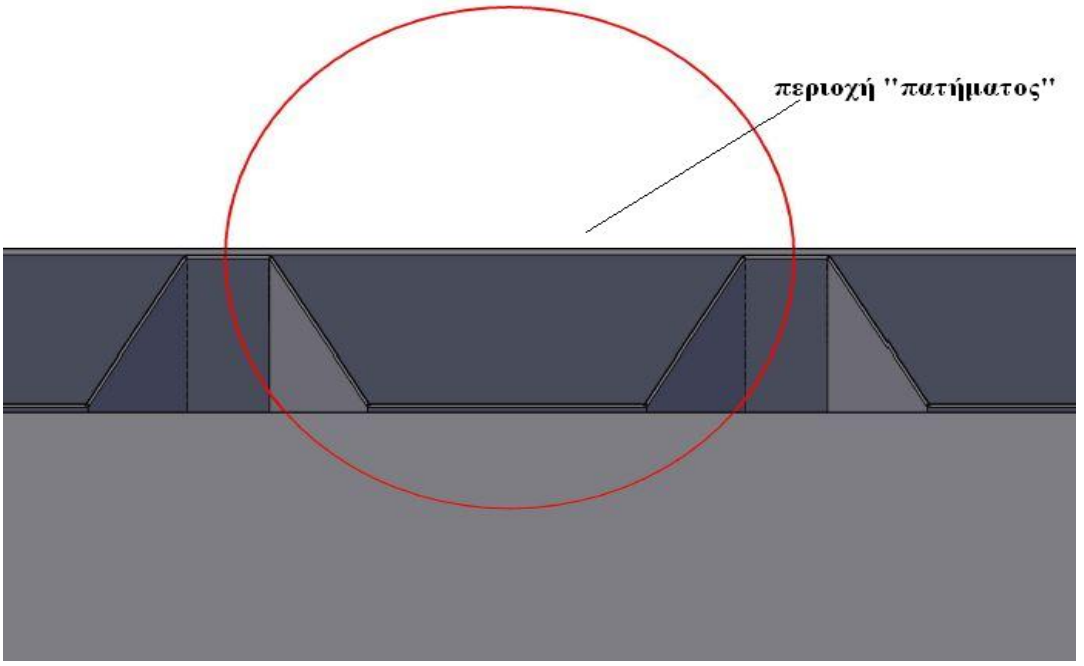
$V_{w,Rd}$= 65,91803 kN/m

*Έλεγχος τέμνουσας :*

$V_{Sd}$= 6,912829 kN/m < $V_{w,Rd}$= 65,9180 kN/m

## 3.6 Έλεγχος περιοχής «πατήματος» της κατασκευής

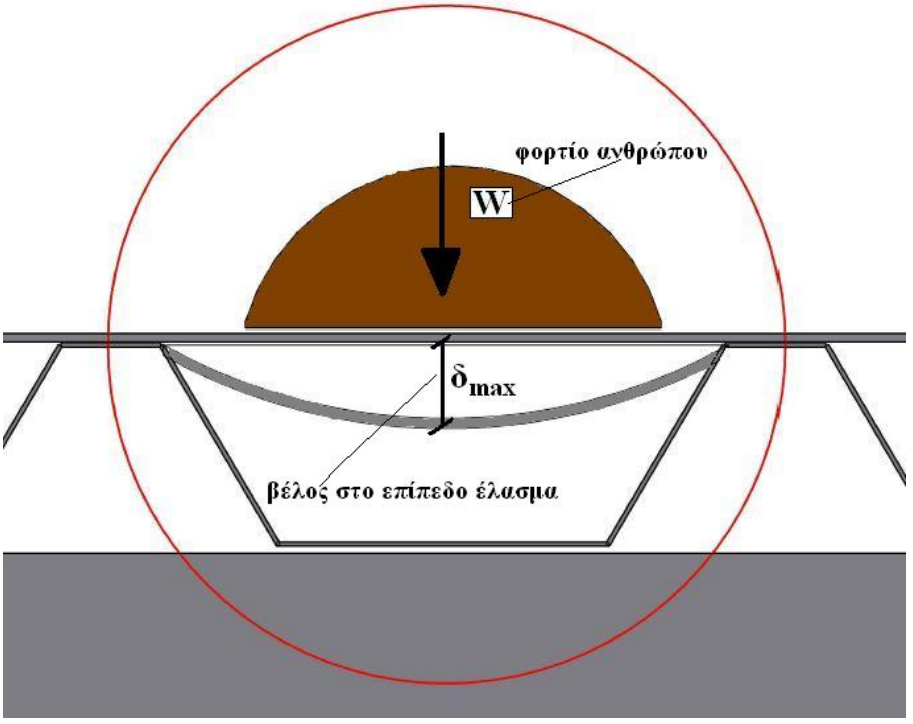
Η κατασκευή που μελετάται, αν και είναι προσωρινή αποτελεί ένα βατό πάτωμα το οποίο και πρέπει να μπορεί να αναλάβει τα φορτία ενός τυπικού δαπέδου. Όπως αποδείχτηκε παραπάνω η κατασκευή μπορεί να ανταποκριθεί στα φορτία χωρίς να υπάρχει κίνδυνος αστοχίας. Οι περιορισμοί που δίνει ο κανονισμός για τον υπολογισμό των βελών λειτουργικότητας είναι αυστηροί και δεν πρέπει τα υπολογιζόμενα βέλη να τους ξεπερνούν. Ωστόσο, εξαιτίας της ιδιαίτερης μορφολογίας της κατασκευής που μελετάται, θα πρέπει να γίνει άλλος ένας έλεγχος «τοπικά».




Σχήμα 3.11: Περιοχή «πατήματος» στην κατασκευή .

Ο έλεγχος αυτός αφορά την περιοχή που απεικονίζεται στο σχήμα 3.11 και έχει την εξής λογική :

Καθώς κάποιος άνθρωπος κινείται επάνω στο επίπεδο έλασμα ενδέχεται το βήμα του να βρεθεί σε περιοχή όπως αυτή του σχήματος 3.11**.** Ο βηματισμός αυτός μπορεί να δημιουργήσει παραμορφώσεις (ή βέλη) σχετικά μεγάλα, τόσο ώστε να δυσαρεστήσει τον άνθρωπο που κινείται επάνω στην κατασκευή. Η δυσαρέστηση αυτή, στην ουσία αποτελεί την απώλεια της λειτουργικότητας της κατασκευής (σχήμα 3.12).




Σχήμα 3.12: Δημιουργία βέλους στην περιοχή κίνησης ανθρώπου .

Σε μία περιοχή της τάξεως των $0{,}0224 m^2$ , όση είναι και η μέση επιφάνεια που καλύπτει το παπούτσι ενός ανθρώπου, ασκείται το συνολικό του βάρος. Αυτός είναι και ο λόγος που μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στην κατασκευή.

### 3.6.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη στην περιοχή «πατήματος»

Στην περιοχή αυτή ασκούνται το ίδιο βάρος του επίπεδου ελάσματος, όπως υπολογίστηκε σε παραπάνω ενότητα, το μόνιμο φορτίο και το πρόσθετο κινητό με :

$$g_{ls} = 0{,}118\, {kN}/{m^2}$$
$$g = 1{,}00\, {kN}/{m^2}$$
$$q = 2{,}00\, {kN}/{m^2}$$

Το μήκος $L_e$ , μεταξύ των σημείων που υπάρχει στήριξη, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.9 θεωρούμε ότι είναι : $L_e \cong b_{a,ls} = 0{,}109\ m$

Όταν γίνεται αναφορά στο $L_e$ , θα αφορά το μήκος του «πατήματος».Τα φορτία σχεδιασμού είναι :

$$q_d = 1{,}35 * (g_{ls} + g) + 1{,}50 * q =$$
$$= 1{,}35 * \left(0{,}118\ {kN}/{m^2} + 1{,}00\ {kN}/{m^2}\right) + 1{,}5 * 2{,}00\ {kN}/{m^2} = 4{,}51\, {kN}/{m^2}$$

Από την επίλυση προκύπτουν τα παρακάτω εντατικά μεγέθη :

- Ροπή ανοίγματος :

$$M_{f,Sd} = -\left(\frac{q_d * {L_e}^2}{12} - \frac{q_d * {L_e}^2}{8}\right) =$$
$$= -\left(\frac{4{,}51\ {kN}/{m^2} * 0{,}109^2 m^2}{12} - \frac{4{,}51\ {kN}/{m^2} * 0{,}109^2 m^2}{8}\right) = -0{,}0022\, {kNm}/{m}$$

- Τέμνουσα στήριξης :

$$V_{Sd} = 0{,}50 * q_d * L_e = 0{,}50 * 4{,}51\ {kN}/{m^2} * 0{,}109\ m = 0{,}246\ {kN}/{m}$$

Όπου έγινε η θεώρηση ότι το τμήμα αυτό ανταποκρίνεται περισσότερο σαν αμφίπακτο και λιγότερο σαν αμφιέρειστο. Τα σταθερά κομμάτια ή αλλιώς οι στηρίξεις δεν είναι σημειακές αλλά για μήκος *19,00mm* σε κάθε άκρο είναι κολλημένα με την τραπεζοειδής λαμαρίνα (σχήμα 3.11). Για το λόγο αυτό έγινε η θεώρηση ότι είναι αμφίπακτο το τμήμα.

### 3.6.2 Έλεγχος λειτουργικότητας επίπεδου ελάσματος

Τα φορτία σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι :

- Συνολικό φορτίο :

$$q_{ls,ser} = (g + g_{ls}) + q = \left(1{,}00\, {kN}/{m^2} + 0{,}118\, {kN}/{m^2}\right) + 2{,}00\, {kN}/{m^2} = 3{,}118\, {kN}/{m^2}$$

- Μεταβλητό φορτίο :

$$q_{t,2,ser} = q = 2{,}00\ {}^{kN}/_{m^2}$$

Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας χρησιμοποιείται η ροπή αδρανείας της πλήρους διατομής :

$$I_{ls,g} = \left(\frac{1}{L/1000}\right)\left(\frac{L * {t_{ls}}^3}{12}\right) = \left(\frac{1}{3m}\right)\left(\frac{300{,}00cm * 0{,}15^3 cm^3}{12}\right) = 0{,}028\ {}^{cm^4}/_{m}$$

Όπου $L$ είναι το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενισμού της ροπής ή αλλιώς το συνολικό μήκος της κατασκευής.

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω συνολικού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{ls,ser} * {L_e}^4}{184{,}60 * E * I_{ls,g}} = \frac{3{,}118 * 10^{-2}\ {}^{kN}/_{cm^2} * (10{,}9)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\ {}^{kN}/_{cm^2} * 0{,}028\ {}^{cm^4}/_{m}} = 0{,}004cm$$

$$< \frac{L_e}{250}$$

$$= \frac{0{,}109 * 100cm}{250} = 0{,}044cm$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{ls,2,ser} * {L_e}^4}{184{,}60 * E * I_{ls,g}} = \frac{2{,}00 * 10^{-2}\ {}^{kN}/_{cm^2} * (10{,}9)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\ {}^{kN}/_{cm^2} * 0{,}028\ {}^{cm^4}/_{m}} = 0{,}003cm$$

$$< \frac{L_e}{300}$$

$$= \frac{0{,}109 * 100cm}{300} = 0{,}036cm$$

Όπου $L_e$ , το μήκος του «πατήματος» (σχήμα 3.9).

Στην συνέχεια θα γίνει έλεγχος του βέλους λειτουργικότητας για την περίπτωση που αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.6 και αφορά το «σημειακό» φορτίο από την κίνηση του ανθρώπου επάνω στο πάτωμα.

Θεωρείται ένα μέσο βάρος ανθρώπου : $q_{hum} = 75{,}00\,kg = 0{,}75\,kN$ . Επιπλέον, θεωρείται ότι το αποτύπωμα του παπουτσιού του ανθρώπου έχει εμβαδόν το οποίο υπολογίζεται ως εξής : $A_{hum} = b * l = 0{,}08m * 0{,}28m = 0{,}0224m^2$

Επομένως στην μικρή αυτή περιοχή ασκείται φορτίο ίσο με :

$$q_{hum} = \frac{q_{hum}}{A_{hum}} = \frac{0{,}75kN}{0{,}0224m^2} = 33{,}48\ {}^{kN}/_{m^2}$$

Η ροπή αδρανείας του επίπεδου ελάσματος για την πλήρη διατομή παραμένει ίδια με πριν :

$$I_{ls,g} = 0{,}028\ {}^{cm^4}/_{m}$$

Το βέλος λειτουργικότητας λόγω κίνησης του ανθρώπου είναι :

$$\delta_{hum,ls} = \frac{(q_{hum} + q_{ls}) * L_s^4}{184,60 * E * I_{ls,g}} = \frac{\left(33,48\,{}^{kN}/_{cm^2} + 0,118\,{}^{kN}/_{cm^2}\right) * 10^{-2} * (10,9)^4 cm^4}{184,60 * 21000\,{}^{kN}/_{cm^2} * 0,028\,{}^{cm^4}/_{m}}$$

$$= 0,0435 < \frac{L_s}{250} = \frac{0,109 * 100cm}{250} = 0,0436cm$$

### 3.6.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος στην περιοχή του «πατήματος»

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή του επίπεδου ελάσματος για θετικές ροπές σε πλάτος αναφοράς :

$b_{ref} = 0,50 * L = 0,50 * 3000,00mm = 1500,00mm$

Η απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού είναι :

$L_m = 0,70 * L_s = 0,70 * 0,109m = 0,08m$

Το πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη, οπότε ισχύει ότι το $\psi = 1,00$ άρα και το $K_\sigma = 4,00$.

Η ανηγμένη λυγηρότητα του πέλματος υπολογίζεται ως εξής :

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 * \frac{b_w}{t_c} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b}{t_{ls}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{3000,00mm}{1,50mm}}{28,4 * 1,0 * \sqrt{4,00}} = 35,21$$

Επειδή για την ανηγμένη λυγηρότητα του πέλματος ισχύει ότι $\bar{\lambda}_p = 35,21 > 0,673$ , ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης υπολογίζεται ως εξής :

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 * (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^{\,2}} = \frac{35,21 - 0,055 * (3 - 1,00)}{35,21^2} = 0,028312 \leq 1,00$$

Επομένως ισχύει ότι :

$b_{eff} = \rho * b = 0,028312 * 3000,00mm = 84,936mm$

Λόγω συμμετρίας ισχύει :

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = \frac{b_{eff}}{2} = \frac{84,936mm}{2} = 42,468mm$$

Η ροπή αδρανείας της ενεργούς διατομής υπολογίζεται ως εξής :

$$I_{eff} = b_{eff,1} * \frac{t_{ls}^{\,3}}{12} = 42,468mm * \frac{1,50^3 mm^3}{12} = 11,94mm^4$$

Η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής είναι :

$$W_{eff,com} = \frac{I_{eff}}{z_u} = \frac{11,94mm^4}{\frac{1,50mm}{2}} = 15,93mm^3$$

Επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η ροπή αντοχής ανοίγματος της διατομής του επίπεδου ελάσματος στην περιοχή του «πατήματος» :

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y * W_{eff,com}}{\gamma_M} = \frac{23{,}5\,{}^{kN}/_{cm^2} * (15{,}93/1000)cm^3}{1{,}0} = 0{,}374\ kNcm$$

Η ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο είναι :

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{b_{ref}} = \frac{0{,}374 * 10^{-2} kNm}{1500{,}00 * 10^{-3} m} = 0{,}0025\,{}^{kNm}/_{m}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο ροπής ανοίγματος ισχύει :

$$M_{f,Sd} = 0{,}0022\,{}^{kNm}/_{m} \leq M_{c,Rd} = 0{,}0025\,{}^{kNm}/_{m}$$

### 3.6.4 Έλεγχος τέμνουσας στήριξης στην περιοχή του «πατήματος»

Όπως υπολογίστηκε παραπάνω η τέμνουσα στήριξης ισούται με : $V_{Sd} = 0{,}246\,{}^{kN}/_{m}$

Για τον υπολογισμό της αντοχής σε τέμνουσα στην περιοχή του «πατήματος», είναι κατανοητό ότι δεν μπορεί να υπολογιστεί με μαθηματικούς τύπους γιατί εξαρτάται από τις αντοχές της εποξειδικής κόλλας. Η κόλλα είναι αυτή που κρατάει ενωμένο το επίπεδο έλασμα με το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο.

Επομένως, ανάλογα με τον τύπο της εποξειδικής κόλλας που θα χρησιμοποιηθεί και το αντίστοιχο πάχος χρήση της θα πρέπει να γίνουν κατάλληλα πειράματα στο εργαστήριο. Υπενθυμίζεται ότι όσο πιο μεγάλο είναι το πάχος της ρητίνης τόσο πιο μεγάλες είναι οι αντοχές της μέχρι, βέβαια, κάποια οριακή τιμή που θα βρεθεί πειραματικά

Από πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί σε μεταλλικές κατασκευές με χρήση εποξειδικής κόλλας, έχει αποδειχτεί ότι αυτού του είδους οι κόλλες σε συνδυασμό με την καλή προετοιμασία των επιφανειών δίδουν πολύ υψηλές αντοχές στην κατασκευή.

## 3.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του EXCEL

### 3.7.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη στην περιοχή «πατήματος»

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ίδιο βάρος επ/δου ελάσματος, | $g_{ls}$= | 0,11775 | kN/m$^2$ |
| Μόνιμα φορτία : | g = | 1,00 | kN/m$^2$ |
| Κινητά φορτία : | q = | 2,00 | kN/m$^2$ |

Μήκος *κενής περιοχής* μεταξύ *2 συνεχόμενων άνω κορυφών* :

| | | |
|---|---|---|
| L1 = | 0,109 | m |

| | | |
|---|---|---|
| Συντελεστές ασφαλείας : | $\gamma_G$ = | 1,35 |
| | $\gamma_Q$ = | 1,50 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Φορτία σχεδιασμού : | $q_d$= | 4,5089625 | kN/m$^2$ |
| Ροπή ανοίγματος : | $M_{f,Sd}$= | 0,00223212 | kNm/m |
| Μέγιστη τέμνουσα : | $V_{Sd}$= | 0,24573846 | kN/m |

### 3.7.2 Έλεγχος λειτουργικότητας επίπεδου ελάσματος

Τα φορτία σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας :

συνολικό φορτίο : $g_{ser}$ = 3,11775 kN/m$^2$

μεταβλητό φορτίο : $q_{2,ser}$ = 2,00 kN/m$^2$

Ροπή αδράνειας πλήρους διατομής :

$I_{ls,g}$= 0,028125000 cm$^4$/m

*βέλος λόγω συνολικού φορτίου :*

$\delta_{ls,max}$ = 0,00403649 < L/250 = 0,0436 cm

*βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου :*

$\delta_{2,ls}$ = 0,00258936 < L/300 = 0,0363 cm

Στην περιοχή μήκους L1 εφαρμόζεται "σημειακό φορτίο" λόγω κίνησης ανθρώπου μέσου βάρους :

$q_h$ = 0,75 kN

το οποίο κατά μέση τιμή φτάνει τα :

$q_{h,p-t}$ = 33,48214 kN/m$^2$

*βέλος λόγω κίνησης ανθρώπου :*

$\delta_{3,ls,,hm}$ = 0,04350144 < L/250 = 0,0436 cm

### 3.7.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος

Θα προσδιοριστεί η ενεργός διατομή του επίπεδου ελάσματος σε πλάτος αναφοράς :

$b_{ref}$= 1500,00 mm

**§ Θλιβόμενο πέλμα**

Το άνω πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη , οπότε :

ψ= 1,00 και $K_\sigma$= 4,0

$f_y$= 235 και ε= 1,00

$\gamma_M$= 1,00

πλάτος πέλματος που μετέχει στη διατμητική υστέρηση : bo = 3000,00

Απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m$=$L_e$ : 0,08 m

στο πάτημα της λαμαρίνας έχομε πάχος ~ λαμαρίνας :

$t_s$= 1,50 mm

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_p$= | 35,2113 | > 0,673 |
| $\rho$= | *0,02822* | ≤ 1,0 |

$b_{eff}$ = 84,6677 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 42,3338 mm

Ροπή αδράνειας : $I_{eff}$= 11,9064 $mm^4$

Ροπή αντίστασης : $W_{eff,com}$= 15,8752 $mm^3$

Ροπή αντοχής : $M_{c,Rd}$ = 0,37307 kNcm

ή $M_{c,Rd}$ = 0,0037 kNm

Ροπή αντοχής ανά τρέχον μέτρο :

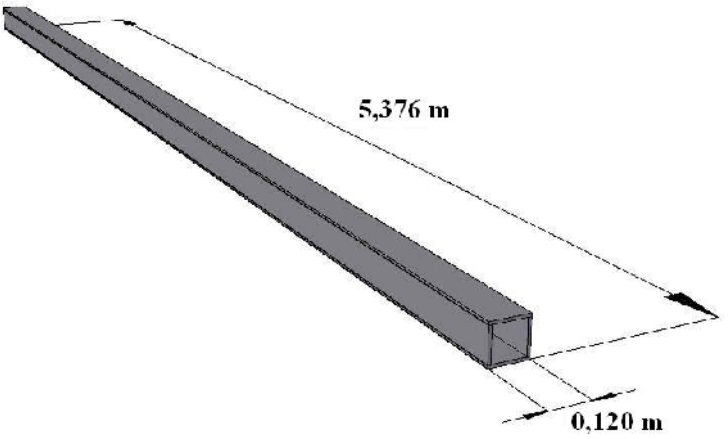
$M_{c,Rd}$ = 0,0025 kNm/m

*Έλεγχος ροπής ανοίγματος :*

$M_{f,Sd}$= 0,00223 kNm/m < $M_{c,Rd}$ = 0,0025 kNm/m

## 3.8 Έλεγχος κοιλοδοκών στήριξης της κατασκευής

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου αυτού, για την περίπτωση της κατασκευής που μελετάται πλάτους *5,376m* , όσο δηλαδή και το πλάτος των έξι τραπεζοειδών χαλυβδοφύλλων που απαρτίζουν το πάτωμα, οι κατάλληλοι κοιλοδοκοί έχουν τις διαστάσεις του σχήματος 3.13.




Σχήμα 3.13: Γεωμετρία κοιλοδοκών κατασκευής .

### 3.8.1 Έλεγχος γεωμετρίας κοιλοδοκών

$$r_{hs} = 12{,}00mm < 5{,}0 * t_{hs} = 5{,}00 * 8{,}00mm = 16{,}00mm$$
$$\frac{r_{hs}}{b_{n,hs}} = \frac{12{,}00mm}{112{,}00mm} = 0{,}107 < 0{,}15$$

Όπου $r_{hs}$ η ακτίνα προσαρμογής του κοιλοδοκού, $t_{hs}$ το πάχος του κοιλοδοκού και $b_{hs}$ το πλάτος της διατομής του κοιλοδοκού, $b_{n,hs}$ είναι το καθαρό πλάτος της διατομής του κοιλοδοκού και υπολογίζονται ως εξής :

$$b_{n,hs} = (b_{hs} - t_{hs}) = 120{,}00mm - 8{,}00mm = 112{,}00mm$$

### 3.8.2 Δρώντα εντατικά μεγέθη στους κοιλοδοκούς

Το εμβαδόν του κάθε κοιλοδοκού (συνολικά η κατασκευή έχει δύο κοιλοδοκούς), υπολογίζεται με τον εξής τρόπο :

$$A_{hs} = \left(2 * h_{n,hs} + 2 * b_{n,hs}\right) * t_{hs} = (2 * 112{,}00mm + 2 * 112{,}00mm) * 8{,}00mm =$$
$$= 3.584{,}00\ mm^2$$

Όπου $h_{n,hs}$ είναι το καθαρό ύψος της διατομής του κοιλοδοκού και υπολογίζεται ως εξής :

$$h_{n,hs} = (h_{hs} - t_{hs}) = 120{,}00mm - 8{,}00mm = 112{,}00mm$$

Το ίδιο βάρος κάθε κοιλοδοκού υπολογίζεται ως :

$$g_{hs} = A_{hs} * 10^{-6} * \gamma_s = 3584{,}00 * 10^{-6} m^2 * 78{,}5\ {}^{kN}/_{m^3} = 0{,}2813\ {}^{kN}/_{m}$$

Για τον υπολογισμό των φορτίων σχεδιασμού είναι γνωστό ότι στον κάθε ένα κοιλοδοκό ασκούνται τα εξής φορτία τροποποιημένα σε $\left({}^{kN}/_{m}\right)$:

- Το ίδιο βάρος κάθε κοιλοδοκού :

$$g_{hs} = 0{,}2813\ {}^{kN}/_{m}$$

- Το ίδιο βάρος του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου :

$$g_c = \frac{g_t * L}{2} = \frac{0{,}0737\ {}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00m}{2} = 0{,}111\ {}^{kN}/_{m}$$

- Το ίδιο βάρος του επίπεδου ελάσματος :

$$g_{ls} = \frac{g_{ls} * L}{2} = \frac{0{,}118\ {}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00m}{2} = 0{,}177\ {}^{kN}/_{m}$$

- Κινητό φορτίο :

$$q = \frac{q * L}{2} = \frac{2\ {}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00m}{2} = 3{,}00\ {}^{kN}/_{m}$$

- Πρόσθετο μόνιμο :

$$g = \frac{g * L}{2} = \frac{1\ {}^{kN}/_{m^2} * 3{,}00m}{2} = 1{,}50\ {}^{kN}/_{m}$$

Τα φορτία σχεδιασμού είναι :

$$q_d = 1{,}35 * (g_{hs} + g + g_{ls} + g_t) + 1{,}50 * q =$$

$$= 1{,}35 * \left(0{,}2813\,{}^{kN}/_{m} + 0{,}111\,{}^{kN}/_{m} + 1{,}5\,{}^{kN}/_{m} + 0{,}177\,{}^{kN}/_{m}\right) + 1{,}5 * 3{,}0\ {}^{kN}/_{m}$$
$$= 7{,}29\ {}^{kN}/_{m}$$

Από την επίλυση προκύπτουν τα παρακάτω εντατικά μεγέθη :

- Ροπή ανοίγματος :

$$M_{f,Sd} = -\frac{q_d * {L_{hs}}^2}{8} = -\frac{7{,}29\,{}^{kN}/_{m} * 5{,}376^2 m^2}{8} = -26{,}34\,{}^{kN}/_{m}$$

- Τέμνουσα στήριξης :

$$V_{Sd} = \frac{q_d * L_{hs}}{2} = \frac{7{,}29\,{}^{kN}/_{m} * 5{,}376\ m}{2} = 19{,}60\ kN$$

Όπου $L_{hs}$ είναι το μήκος κάθε κοιλοδοκού ή αλλιώς το πλάτος της κατασκευής του πατώματος που μελετάται.

Η θέση κέντρου βάρους πλήρους διατομής (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι :

$$z_{hs} = \frac{h_{n,hs}}{2} = \frac{(h_{hs} - t_{hs})}{2} = \frac{(120{,}00mm - 8{,}00mm)}{2} = 56{,}00mm$$

Η θέση κέντρου βάρους πλήρους διατομής (απόσταση από τον αριστερό κορμό) είναι :

$$z_{z,hs} = \frac{b_{n,hs}}{2} = \frac{(b_{hs} - t_{hs})}{2} = \frac{(120{,}00mm - 8{,}00mm)}{2} = 56{,}00mm$$

### 3.8.3 Έλεγχος λειτουργικότητας τετραγωνικών κοιλοδοκών

Τα φορτία σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι :

- Συνολικό φορτίο :

$$q_{ser} = (g + g_t + g_{hs} + g_{ls}) + q =$$
$$= \left(1{,}50\,{}^{kN}/_{m} + 0{,}111\,{}^{kN}/_{m} + 0{,}2813\,{}^{kN}/_{m} + 0{,}177\,{}^{kN}/_{m}\right) + 3{,}00\,{}^{kN}/_{m} =$$
$$= 5{,}069\,{}^{kN}/_{m}$$

- Μεταβλητό φορτίο :

$$q_{2,ser} = q = 3{,}00\,{}^{kN}/_{m}$$

Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας χρησιμοποιείται η ροπή αδρανείας της πλήρους διατομής :

$$I_{g,hs} = 2 * \frac{t_{hs} * {h_{n,hs}}^3}{12} + 2 * \frac{b_{n,hs} * {t_{hs}}^3}{12} + 2 * \left[b_{n,hs} * t_{hs} * \left(\frac{h_{n,hs}}{2}\right)^2\right] =$$
$$= 2 * \frac{8{,}00m * 112{,}00^3 mm^3}{12} + 2 * \frac{112{,}00m * 8{,}00^3 mm^3}{12} +$$
$$+2 * (112{,}00mm * 8{,}00mm * 56{,}00^2 mm^2) = 7.502.506{,}67\ mm^4 = 750{,}25\ cm^4$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω συνολικού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{ser} * {L_{hs}}^4}{184{,}60 * E * I_{g,hs}} = \frac{5{,}069 * 10^{-2}\,{}^{kN}/_{cm} * (537{,}6)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\,{}^{kN}/_{cm^2} * 750{,}25\ cm^4} = 1{,}46cm < \frac{L_{hs}}{250} =$$

$$= \frac{5{,}376 * 100cm}{250} = 2{,}15cm$$

- Βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου :

$$\delta_{max} = \frac{q_{2,ser} * {L_{hs}}^4}{184{,}60 * E * I_{g,hs}} = \frac{3{,}00 * 10^{-2}\, {kN}/{cm^2} * (537{,}6)^4 cm^4}{184{,}60 * 21000\, {kN}/{cm^2} * 75025\, cm^4} = 0{,}86cm < \frac{L_{hs}}{300} =$$
$$= \frac{5{,}376 * 100cm}{300} = 1{,}79cm$$

### 3.8.4 Έλεγχος ροπής ανοίγματος τετραγωνικών κοιλοδοκών

Δεν απαιτείται έλεγχος διατμητικής υστερήσεως επειδή ισχύει :

$$\frac{b_{n,hs}}{L_{hs}} = \frac{112{,}00mm}{5.376{,}00mm} = 0{,}021 < \frac{1}{20} = 0{,}050$$

Η απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού είναι :

$$L_m = L_e = 1{,}00 * L_{hs} = 1{,}00 * 5{,}376m = 5{,}376m$$

#### 3.8.4.1 Εφελκυόμενο κάτω πέλμα

Σύμφωνα με τον κανονισμό το εφελκυόμενο πέλμα κατά τον τοπικό λυγισμό θεωρείται πλήρως ενεργό. Επομένως, ισχύει ότι :

$$b_{eff\,n,hs,d} = 112{,}00mm$$

Οπότε, λόγω συμμετρίας ισχύει :

$$b_{eff\,n,hs,d,1} = b_{eff\,n,hs,d,2} = \frac{b_{eff\,n,hs,d}}{2} = \frac{112{,}00mm}{2} = 56{,}00mm$$

#### 3.8.4.2 Θλιβόμενο άνω πέλμα

Από προηγούμενη παράγραφο έχει υπολογιστεί ότι η θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) είναι $z_{hs,t} = 56{,}00mm$. Επομένως ισχύει το εξής :

$$z_{hs,t} = 56{,}00mm \equiv z_{hs,c} = 56{,}00mm$$

Επομένως, το θλιβόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το θλιβόμενο.

Το άνω πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη, οπότε ισχύει ότι το $\psi = 1{,}00$ άρα και για τον συντελεστή κύρτωσης ισχύει $K_\sigma = 4{,}00$.

Η ανηγμένη λυγηρότητα του άνω πέλματος υπολογίζεται ως :

$$\bar{\lambda}_\rho = 1{,}052 * \frac{b_g}{t_c} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{b_{n,hs}}{t_{hs}}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{112{,}00mm}{8{,}00mm}}{28{,}4 * 1{,}0 * \sqrt{4{,}00}} = 0{,}246$$

Επειδή για την ανηγμένη λυγηρότητα του πέλματος ισχύει ότι $\bar{\lambda}_\rho = 0{,}246 < 0{,}673$ , για τον μειωτικό συντελεστή κύρτωσης ισχύει ότι $\rho = 1{,}00$. Επομένως ισχύει ότι :

$$b_{eff\,n,hs,u} = \rho * b_{n,hs} = 1{,}00 * 112{,}00mm = 112{,}00mm$$

Λόγω συμμετρίας ισχύει :

$$b_{effn,hs,u,1} = b_{effn,hs,u,2} = \frac{b_{effn,hs,u}}{2} = \frac{112{,}00mm}{2} = 56{,}00mm$$

Επειδή τόσο το θλιβόμενο πέλμα όσο και το εφελκυόμενο είναι πλήρως ενεργά, αφού δεν έχουν υποστεί απομείωση, ισχύει για τη θέση κέντρου βάρους (απόσταση από το κάτω πέλμα) :

$$z_{hs} = \frac{h_{n,hs}}{2} = \frac{(h_{hs} - t_{hs})}{2} = \frac{(120{,}00mm - 8{,}00mm)}{2} = 56{,}00mm$$

3.8.4.3 Ενεργός διατομή κορμού

Επειδή:
$z_{hs,t} = 56{,}00mm \equiv z_{hs,c} = h_{n,hs} - z_{hs,t} = 112{,}00mm - 56{,}00mm = 56{,}00mm$, το θλιβόμενο πέλμα εισέρχεται στη διαρροή πριν από το εφελκυόμενο.

Ο λόγος $\psi$ υπολογίζεται ως εξής :

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{z_{hs,t}}{z_{hs,c}} = \frac{56{,}00mm}{-56{,}00mm} = -1{,}00$$

*Όπου* $(3 + \psi) = (3 - 1{,}00) = 2{,}00 \geq 0$

Επομένως ισχύει ότι $\psi = -1$, άρα για το συντελεστή κύρτωση $K_\sigma$ έχουμε ότι :

$K_\sigma = 23{,}92$

Αφού υπολογίστηκε ο συντελεστή κύρτωσης, υπολογίζεται η ανηγμένη λυγηρότητα :

$$\bar{\lambda}_\rho = 1{,}052 * \frac{b_p}{t_t} * \sqrt{\frac{f_y}{E * K_\sigma}} = \frac{\frac{h_{n,hs}}{t_{hs}}}{28{,}4 * \varepsilon * \sqrt{K_\sigma}} = \frac{\frac{112{,}00m}{8{,}00mm}}{28{,}4 * 1{,}0 * \sqrt{23{,}92}} = 0{,}101 \leq 0{,}673$$

Τέλος, υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης $\rho$ :

Επειδή $\bar{\lambda}_\rho = 0{,}101 < 0{,}673$, το : $\rho = 1{,}00$

Σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα του κανονισμού ισχύει για το ενεργό πλάτος του κορμού του κοιλοδοκού :

$$h_{eff} = \rho * h_c = \rho * \frac{h_{n,hs}}{(1 - \psi)} = 1{,}00 * \frac{112{,}00mm}{(1 + 1{,}00)} = 56{,}00mm$$

$$h_{e1} = 0{,}40 * h_{eff} = 0{,}40 * 56{,}00mm = 22{,}40\ mm$$

$$h_{e2} = 0{,}60 * h_{eff} = 0{,}60 * 56{,}00mm = 33{,}60\ mm$$

Όπου το $h_{e1} = h_{eff1}$ , είναι το ενεργό κεκλιμένο τμήμα του κορμού προς το θλιβόμενο άνω πέλμα.

Ο υπολογισμός του ενεργού, κεκλιμένου τμήματος, του κορμού προς το εφελκυόμενο κάτω πέλμα πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία :

$$h_{eff2} = h_{n,hs} - h_{e1} - (h_c - h_{e1} - h_{e2}) =$$
$$= 112{,}00mm - 22{,}40mm - \left(\frac{112{,}00mm}{(1 + 1{,}00)} - 22{,}40mm - 33{,}60mm\right) = 89{,}60mm$$

3.8.4.4 Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής

Το εμβαδόν της ενεργούς διατομής είναι :

$$A_{eff} = \left[b_{eff,hs,d} + b_{eff,hs,u} + 2 * (h_{s1} + h_{s2}) + 2 * (h_{w,hs} - h_c)\right] * t_{ht} =$$
$$= [112,0mm + 112,0mm + 2 * (22,4mm + 33,6mm) +$$
$$+2 * \left(112,0mm - \frac{112,00mm}{(1 + 1,00)}\right)] * 8,0mm = 3584,00\ mm^2$$

Παρατηρούμε ότι το εμβαδόν της ενεργούς διατομής είναι ίσο με το αντίστοιχο της καθαρής διατομής. Αυτό συμβαίνει επειδή η διατομή είναι πλήρως ενεργή. Επομένως για την απόσταση του κέντρου βάρους της ενεργούς διατομής από την ίνα του κάτω πέλματος είναι :

$$z_{hs,eff,c} = \frac{h_{eff1} + h_{eff2}}{2} = \frac{22,40mm + 89,60mm}{2} = 56,00mm$$

Η ροπή αδρανείας της ενεργού διατομής ως προς τον κεντροβαρικό άξονά της είναι ίση με την ροπή πλήρους διατομής, δηλαδή ισχύει :

$$I_{g,hs,eff} \equiv I_{g,hs} = 7.502.506,67\ mm^4$$

Η ροπή αντίστασης της ενεργούς διατομής υπολογίζεται ως εξής :

$$W_{eff,com} = \frac{I_{eff}}{z_{com}} = \frac{7.502.506,67\ mm^4}{60,00mm} = 125.041,78\ mm^3$$

Όπου το $z_{com}$ είναι :

$$z_{com} = h_{hs} - z_k = h_{hs} - \left(z_{hs,eff,c} + \frac{t_{hs}}{2}\right) = 120,0m - \left(56,0mm + \frac{8,0mm}{2}\right)$$
$$= 60,00mm$$

Η ροπή αντοχής υπολογίζεται ως εξής :

$$M_{y,Rd} = W_{eff,com} * \frac{f_{yb}}{\gamma_M} = 125.041,78\ mm^3 * \frac{235\ N/mm^2}{1,0} = 29384818,3\ Nmm =$$
$$= 29,38kNm$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο ροπής ανοίγματος ισχύει :

$$M_{f,Sd} = 26,34\ kNm \leq M_{y,Rd} = 29,38\ kNm$$

### 3.8.5 Έλεγχος τέμνουσα στήριξης τετραγωνικών κοιλοδοκών

Η ανηγμένη λυγηρότητα υπολογίζεται ως :

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 * \frac{h_{w,hs}}{t_{hs}} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \cong \frac{\frac{h_{w,hs}}{t_{hs}}}{86,4 * \varepsilon} = \frac{\frac{112,00mm}{8,00mm}}{86,4 * 1} = 0,162 \quad ,\text{όπου} \quad \bar{\lambda}_w \leq 0,83$$

Επομένως σύμφωνα με πίνακα του κανονισμού η οριακή τάση κύρτωσης λόγω διάτμησης είναι :

$$f_{bv} = \frac{0,58 * f_{yb}}{1,00} = \frac{0,58 * 23,5\ kN/cm^2}{1,00} = 13,63\ kN/cm^2$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού είναι :

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_{n,hs}}{sin\varphi} * t_{hs} * f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{112{,}00 * 10^{-1} cm}{sin(90^{\circ})} * 8{,}0 * 10^{-1} cm * 13{,}63\, {}^{kN}/_{cm^2}}{1{,}0} =$$
$$= 122{,}12\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \left(\frac{h_{n,hs}}{sin\varphi}\right) * t_{hs} * \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \left[\frac{112{,}0 * 10^{-1} cm}{sin(90^{\circ})}\right] * 8{,}0 * 10^{-1} cm * \frac{\left(\frac{23{,}5\, {}^{kN}/_{cm^2}}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} =$$
$$= 121{,}57\ kN$$

Άρα ισχύει :

$$V_{w,Rd} = min\left(V_{b,Rd}\,; V_{pl,Rd}\right) = min(122{,}12kN\,; 121{,}57\ kN) = 121{,}57\ kN = V_{pl,Rd}$$

Σύμφωνα με τον έλεγχο τέμνουσας στήριξης ισχύει :

$$V_{Sd} = 19{,}60\ kN \leq V_{w,Rd} = 121{,}57\ kN$$

## 3.9 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του EXCEL

### 3.9.1 Δρώντα εντατικά μεγέθη στους τετραγωνικούς κοιλοδοκούς

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ίδιο βάρος κοιλ/κού : | $g_{hs}$ = | 0,281344 | kN/m |
| Ίδιο βάρος τραπ/ούς χαλ/λου, | $g_t$ = | 0,11065561 | kN/m |
| Ίδιο βάρος επ/δου ελάσματος, | $g_{ls}$ = | 0,176625 | kN/m |
| Κινητά φορτία : | q = | 3,0000 | kN/m |
| Μόνιμα φορτία : | g = | 1,5000 | kN/m |

*Συνολικό βάρος μισής κατασκευής:*

$G_{SUM}$ = 5,06862461 kN/m

Συντελεστές ασφαλείας : $\gamma_G$ = 1,35

$\gamma_Q$ = 1,50

| | | | |
|---|---|---|---|
| *φορτία σχεδιασμού :* | $q_d$= | 7,29264323 | kN/m |
| *ροπή ανοίγματος :* | $M_{f,Sd}$= | 26,345928 | kNm |
| *μέγιστη τέμνουσα :* | $V_{Sd}$= | 19,602625 | kN |

### 3.9.2 Έλεγχος λειτουργικότητας τετραγωνικών κοιλοδοκών

| | | | |
|---|---|---|---|
| Συνολικό φορτίο : | $g_{ser}$ = | 5,06862 | kN/m |
| Μεταβλητό φορτίο : | $q_{2,ser}$ = | 3,00 | kN/m |

Ροπή αδράνειας πλήρους διατομής :

$I_{hs,g}$ = 7.502.506,67 $mm^4$

ή $I_{hs,g}$ = 750,250667 $cm^4$

*βέλος λόγω συνολικού φορτίου :*

$\delta_{hs,max}$ = 1,45569298 < L/250 = 2,1504 cm

*βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου :*

$\delta_{hs,2}$ = 0,86159052 < L/300 = 1,792 cm

### 3.9.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος τετραγωνικών κοιλοδοκών

**§ Εφελκυόμενο κάτω πέλμα κοιλοδοκού**

Απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 5,376 m

πλάτος πέλματος που μετέχει στον τοπικό λυγισμό: $b_o$ = 112,00

$b_{eff}$= 112,00 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 56,00 mm

**§ Θλιβόμενο άνω πέλμα κοιλοδοκού**

Απόσταση σημείων μηδενισμού ροπών , $L_m=L_e$ : 5,376 m

Το άνω πέλμα υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη , οπότε :

ψ= 1,00 και $K_\sigma$= 4,0

$f_y$= 235 και ε= 1,00

πλάτος πέλματος που μετέχει στον τοπικό λυγισμό: $b_o$ = 112,00

$\lambda_\rho$= 0,24647887 ≤ 0,673

$\rho$= *1,00* ≤ 1,0

$b_{eff}$ = 112,00 mm

επομένως λόγω συμμετρίας :

$b_{eff1}$= $b_{eff2}$ = 56,00 mm

Θέση κέντρου βάρους από το κάτω πέλμα :

$z_G$= 56,00 mm

**§ Ενεργός διατομή κορμού κοιλοδοκού**

ψ= -1,0000 : ψ = -1

$K_\sigma$= *23,92000*

$\lambda_\rho$= 0,1008 ≤ 0,673

$\rho$= *1,000000* ≤ 1,0

$h_{eff}$ = 56,0000 mm

$h_{eff1}$ = 22,4000 mm *:(από θλιβόμενο)*

$h_{eff2}$ = 33,6000 mm

**§ Αδρανειακά μεγέθη ενεργούς διατομής**

r= 89,6000 mm *:( ενεργό προς εφελκυόμενο)*

$A_{eff}$= 3584,00 $mm^2$

*Θέση κέντρου βάρους :*

$y_G$ = 56,0000 mm *, από το Κ. Β. αριστερά*

$z_G$ = 56,0000 mm *, από το Κ. Β. κάτω*

Ροπή αδράνειας : $I_{y,eff}$= 7.502.506,67 $mm^4$

Ροπή αντίστασης : $W_{eff,com}$= 125.041,78 $mm^3$

Ροπή αντοχής : $M_{y,Rd}$ = 29,3848178 kNm

*Έλεγχος ροπής ανοίγματος :*

$M_{f,Sd}$= 26,3459 kNm < $M_{y,Rd}$ = 29,3848 kNm

### 3.9.4 Έλεγχος τέμνουσα στήριξης τετραγωνικών κοιλοδοκών

$f_{yb}$= 235 και ε= 1,00

$f_y$= 235 και $\gamma_{M0}$= 1,00

$\lambda_w$= 0,16203704 ≤ 0,83

$f_{bv}$= 13,63 $kN/cm^2$

$V_{b,Rd}$= 122,1248 kN

Η πλαστική τέμνουσα αντοχή είναι :

$V_{pl,Rd}$ = 121,566873 kN

Επομένως έχομε ότι :

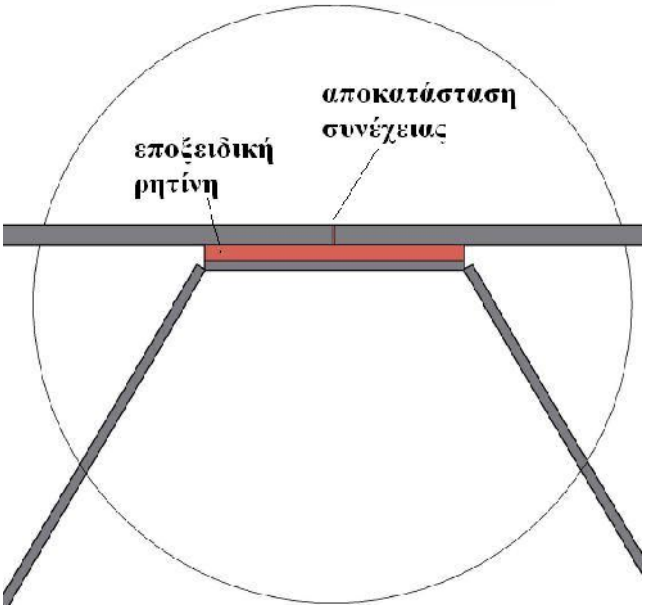
$V_{w,Rd}$= min{ $V_{b,Rd}$ ; $V_{pl,Rd}$ } = 121,566873 kN

*Έλεγχος τέμνουσας :*

$V_{Sd}$= 19,60263 κN < $V_{w,Rd}$= 121,567 κN

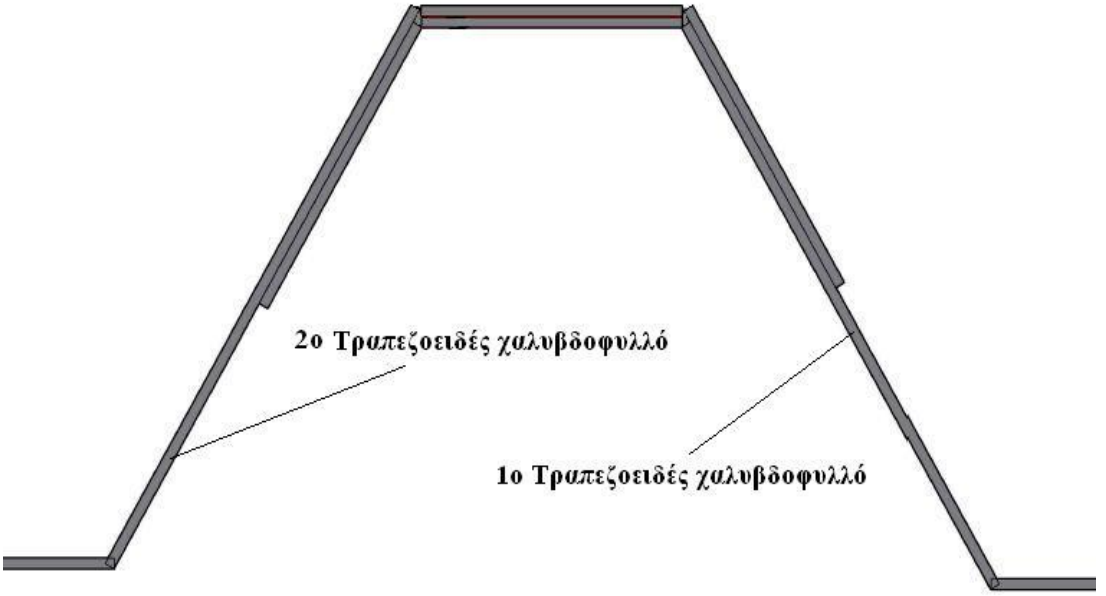
## 3.10 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.1 οι διαστάσεις του επίπεδου ελάσματος είναι *1,0m*3,0mm* και δεν παρουσιάζουν εγκοπές ώστε να γίνεται ομαλά η αποκατάσταση της συνέχειας, όπως συμβαίνει με το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο. Για το λόγο αυτό, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.14 η αποκατάσταση πραγματοποιείται στο άνω πέλμα του τραπεζοειδούς φύλλου με χρήση ρητίνης όπως γίνεται και στα άλλα πέλματα.




Σχήμα 3.14: Αποκατάσταση συνέχειας της επίπεδης λαμαρίνας .

Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται σχηματικά η αποκατάσταση συνέχειας του τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου. Από την κατασκευή τους τα τραπεζοειδή φύλλα έχουν κατάλληλες διαμορφωμένες άκρες, ώστε η άκρη του ενός να τοποθετείται στην άκρη του δεύτερου χωρίς να επηρεάζεται η κατασκευή. Ο μηχανικός κατά την διαδικασία της αποκαταστάσεως θα μπορούσε να τοποθετήσει λεπτό στρώμα ρητίνης για την καλύτερη συμπεριφορά του τραπεζοειδούς φύλλου στην περιοχή αυτή.




Σχήμα 3.15: Αποκατάσταση συνέχειας τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου .

# 4 Παραμετρική διερεύνηση

## 4.1 Εισαγωγή

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού, είναι η παρουσίαση κατάλληλων διαγραμμάτων που σκοπό έχουν να δείξουν στον αναγνώστη το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα πάχη του κεφαλαίου 3 στα μεταλλικά στοιχεία. Υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιήθηκε τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο πάχους *0,70* mm και επίπεδη λαμαρίνα πάχους *1,50* mm.

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν γιατί σύμφωνα με τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω αποτελούν της οριακές τιμές.

## 4.2 Παρουσίαση διαγραμμάτων

### 4.2.1 Επιλογή ελάχιστου πάχους επίπεδου ελάσματος

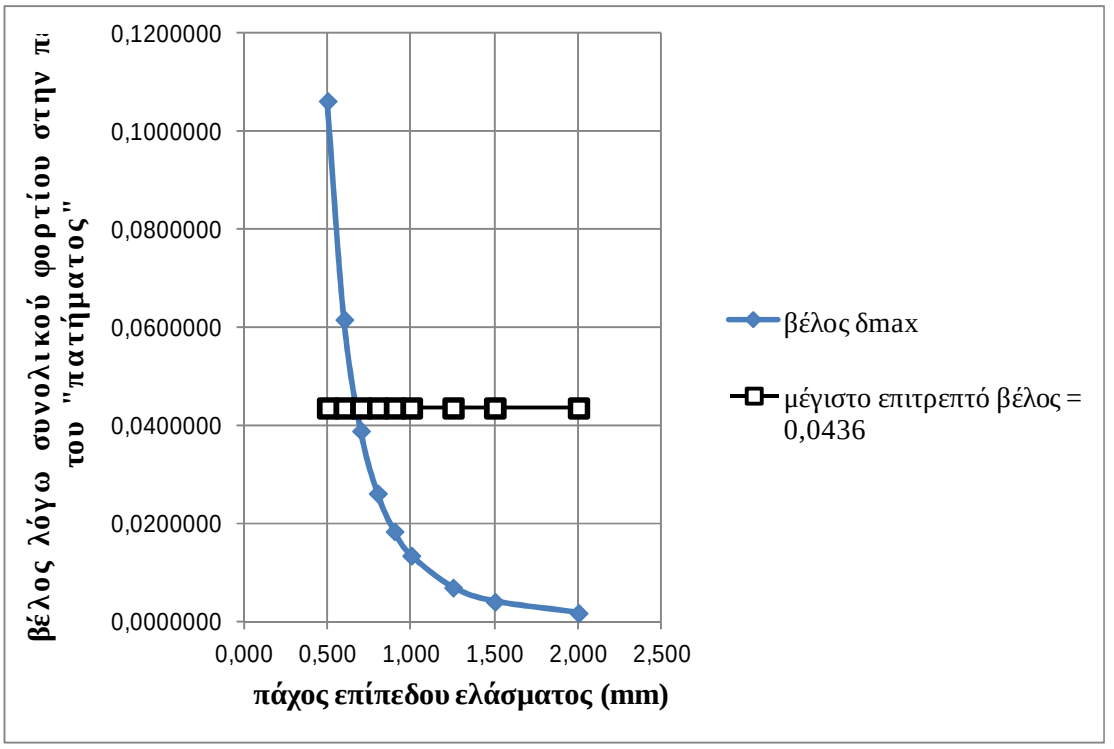
Η επιλογή του ελάχιστου πάχους του επίπεδου ελάσματος θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τα σχήματα 4.1, 4.2, 4.3 που παρουσιάζονται παρακάτω. Τα σχήματα αυτά, αναφέρονται στην παράγραφο 3.6 και στο σκεπτικό το οποίο και αναλύεται. Αναλυτικότερα, τα σχήματα παρουσιάζουν τα βέλη λειτουργικότητας του επίπεδου ελάσματος στην περιοχή του «πατήματος» όπως φαίνεται στο σχήμα 3.11.

Στο σχήμα 4.1 το οποίο αφορά το βέλος λόγω συνολικού φορτίου, εμφανίζεται ένα μέγιστο επιτρεπτό βέλος. Επομένως το βέλος, για κάθε ένα από τα πάχη του επίπεδου ελάσματος δεν πρέπει να το ξεπερνά. Η παραπάνω υπόθεση υφίσταται για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,70* mm.

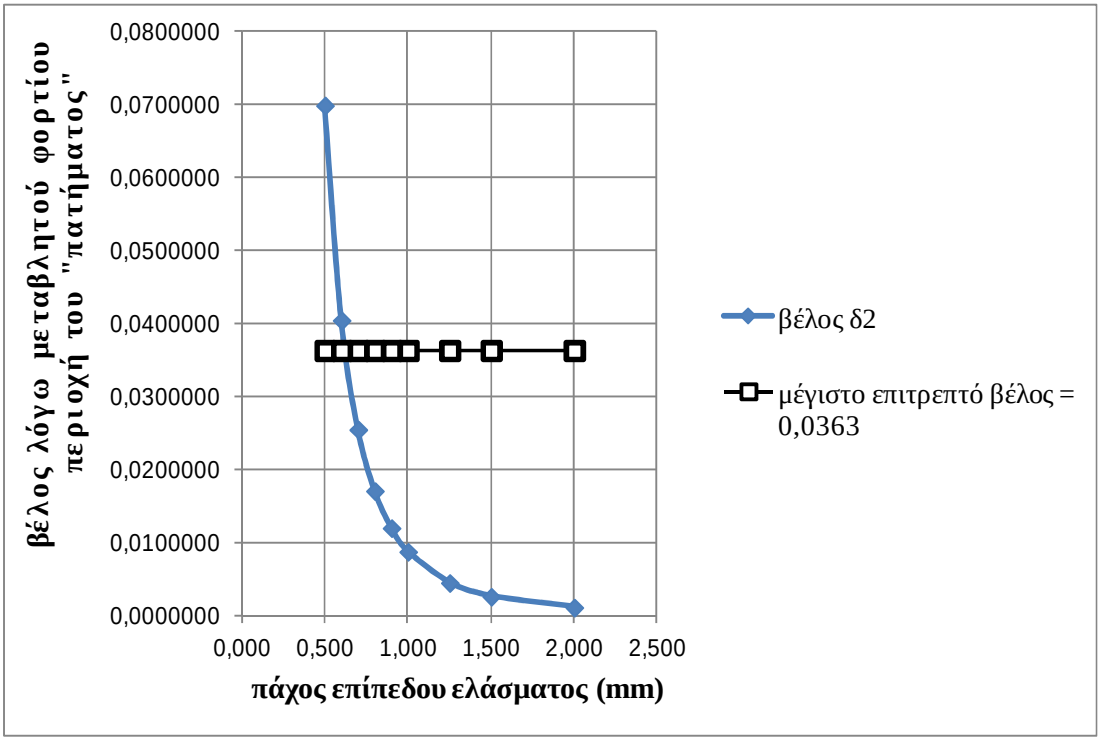
Αντίστοιχα, στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου στην περιοχή του «πατήματος». Η ύπαρξη μέγιστου βέλους και σε αυτήν την περίπτωση δίνει επιτρεπτά πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,70* mm.

Τέλος, στο σχήμα 4.3 το οποίο είναι καθοριστικό στην επιλογή ελάχιστου πάχους επίπεδου ελάσματος, απεικονίζεται το βέλος λειτουργικότητας λόγω κίνησης ενός ανθρώπου στην περιοχή του «πατήματος». Αναλυτικά στοιχεία για την κίνηση του ανθρώπου στην περιοχή αυτή, υπάρχουν στην παράγραφο 3.6. Για το βάρος του ανθρώπου θεωρήθηκε με μέση τιμή της τάξεως των *75* kg και για το πάτημά του λήφθηκε επιφάνεια της τάξεως των *0,0224* $m^2$ . Και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μέγιστο επιτρεπτό βέλος, το οποίο και εμφανίζεται πολύ μικρότερο σε σχέση με τα παραπάνω οριακά βέλη λειτουργικότητας, επομένως υπάρχει επαλήθευση για τα πάχη τα οποία είναι ≥ *1,50* mm.

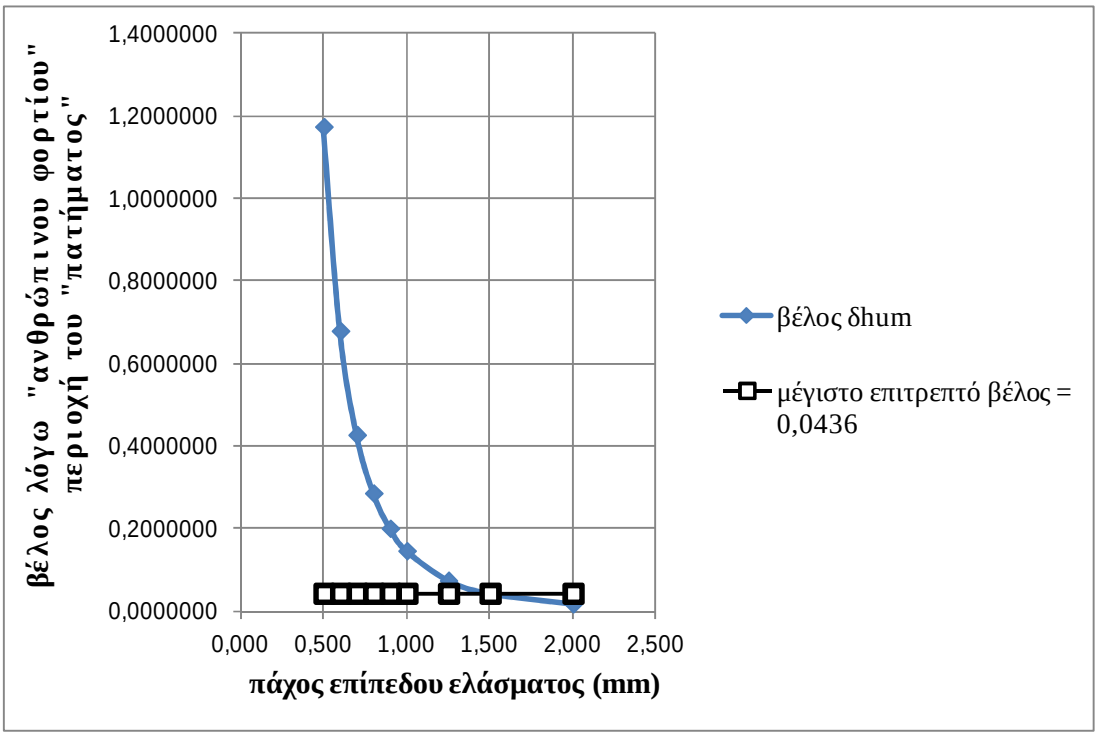
Συμπερασματικά, προκύπτει από τα παραπάνω ότι το ελάχιστο πάχος του επίπεδου ελάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή είναι το *1,50* mm.




Σχήμα 4.1: Καμπύλη βέλους συνολικού φορτίου στην περιοχή του «πατήματος» για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .




Σχήμα 4.2: Καμπύλη βέλους μεταβλητού φορτίου στην περιοχή του «πατήματος» για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .




Σχήμα 4.3: Καμπύλη βέλους «ανθρώπινου φορτίου» στην περιοχή του «πατήματος» για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .

### 4.2.2 Επιλογή ελάχιστου πάχους τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου

Στην παράγραφο αυτή, θα πραγματοποιηθεί η διερεύνηση για το ελάχιστο πάχος του τραπεζοειδούς φύλλου από χάλυβα σε σχέση με τα διαφορετικά πάχη του επίπεδου ελάσματος.

Το ελάχιστο πάχος του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου προκύπτει από τα βέλη λειτουργικότητας της κατασκευής (λόγω μεταβλητού φορτίου και λόγω συνολικού).

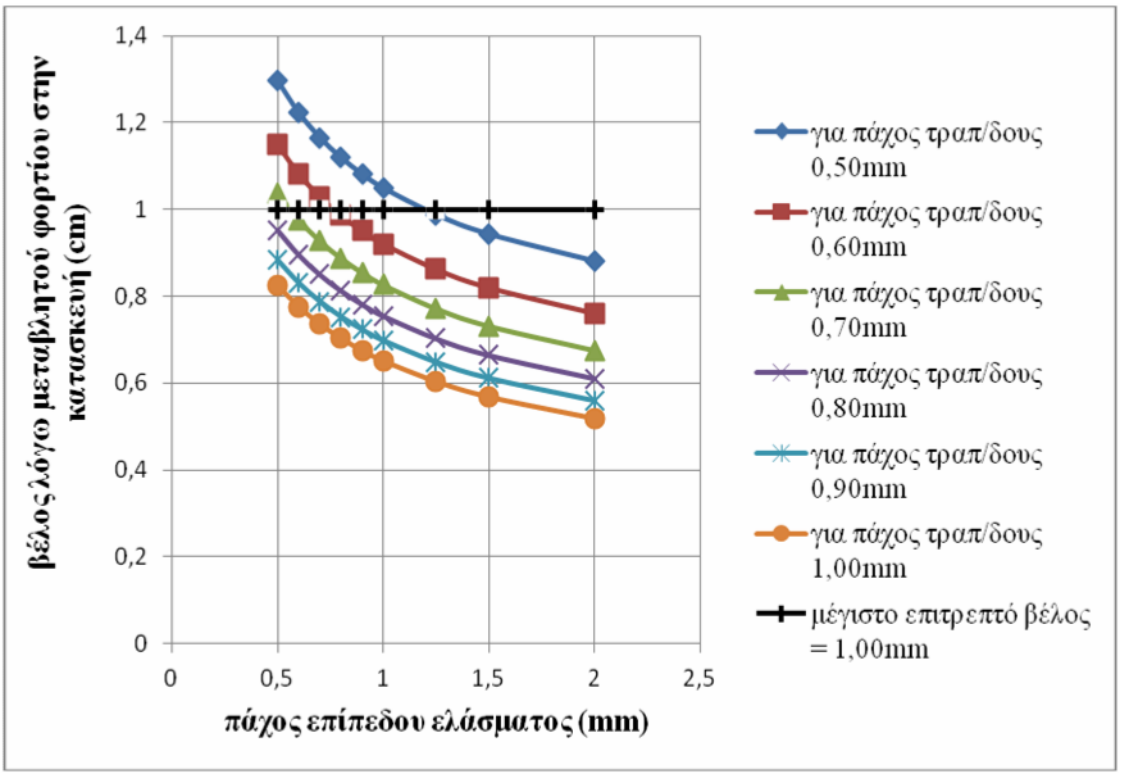
Αρχικά όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4 υπάρχει ένα κοινό, δηλαδή για όλα τα πάχη των μεταλλικών στοιχείων, μέγιστο επιτρεπτό βέλος λόγω μεταβλητού φορτίου, το οποίο και εξαρτάται από το άνοιγμα της αμφιέρειστης κατασκευής (κεφάλαιο 3.4.2). Για να θεωρηθεί αποδεκτή η λύση θα πρέπει το βέλος λειτουργικότητας λόγω μεταβλητού φορτίου της κατασκευής να βρίσκεται κατάντη της οριακής αυτής γραμμής. Επομένως όπως προκύπτει από το σχήμα 4.4 υπάρχει επαλήθευση για τα εξής πάχη τραπεζοειδούς :

*1,00* mm, *0,90* mm, *0,80* mm, *0,70* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,60*mm), *0,60* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,80*mm) και *0,50* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *1,25*mm).

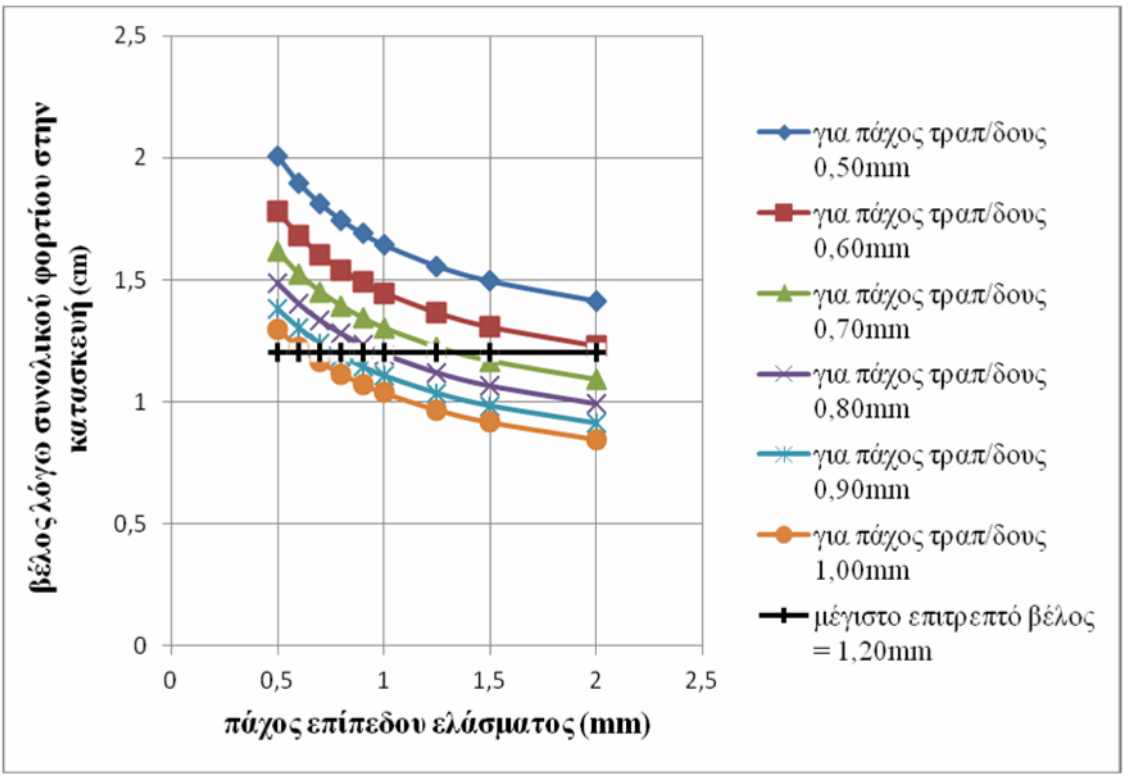
Επιπλέον λαμβάνοντας υπ’ όψιν το σχήμα 4.5, το οποίο αφορά τον έλεγχο λειτουργικότητας λόγω συνολικού φορτίου, παρατηρείται η ύπαρξη ανώτατου βέλους, της τάξεως του *1,20* mm. Με την ίδια διαδικασία όπως έγινε και με το σχήμα 4.4 υπάρχει επαλήθευση για τα εξής πάχη τραπεζοειδούς :

*1,00* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,70*mm), *0,90* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *0,80*mm), *0,80* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *1,00*mm), *0,70* mm (για πάχη επίπεδου ελάσματος ≥ *1,50*mm)

Επομένως, από τα παραπάνω προκύπτει το ελάχιστο πάχος τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι της τάξεως των *0,70* mm (με πάχος επίπεδου ελάσματος *1,50* mm).




Σχήμα 4.4: Καμπύλη βέλους μεταβλητού φορτίου των τραπεζοειδών φύλλων της κατασκευής για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .



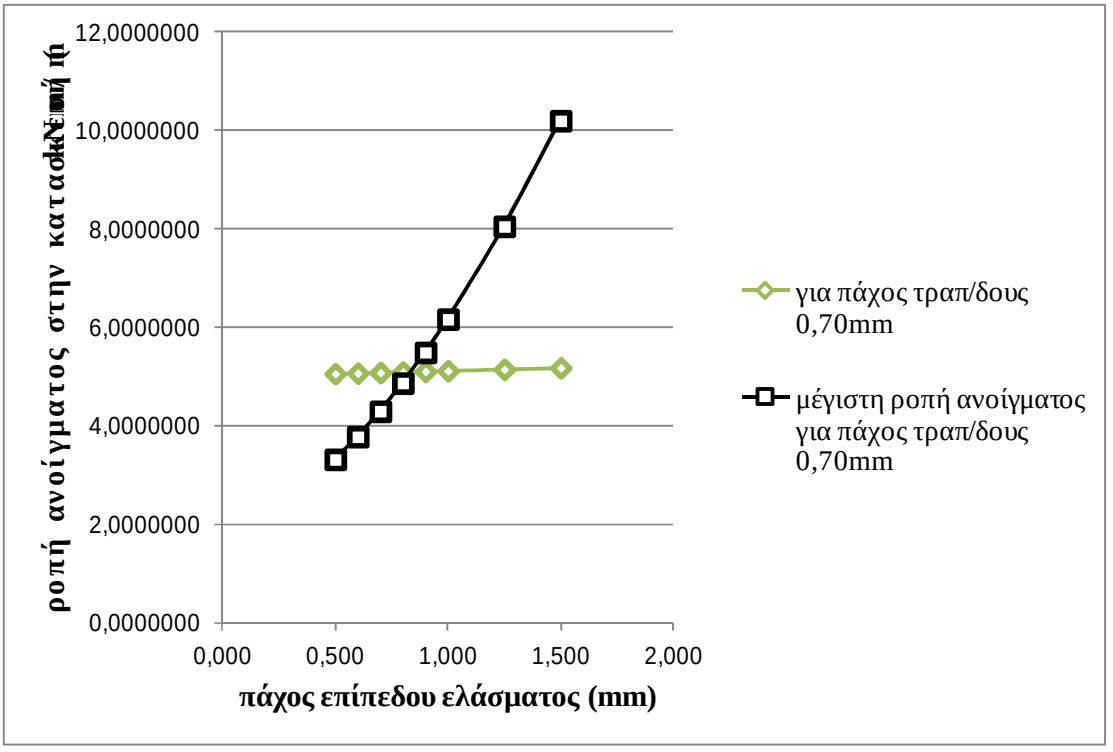

Σχήμα 4.5: Καμπύλη βέλους συνολικού φορτίου των τραπεζοειδών φύλλων της κατασκευής για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .

Επομένως, με χρήση των όλων των διαγραμμάτων λειτουργικότητας της κατασκευής έγινε η επιλογή των ελάχιστων παχών για το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο και για το επίπεδο έλασμα. Ο έλεγχος που μένει να πραγματοποιηθεί είναι αν τα πάχη αυτά επαληθεύουν τους ελέγχους της ροπής ανοίγματος και τέμνουσας στήριξης για την κατασκευή.

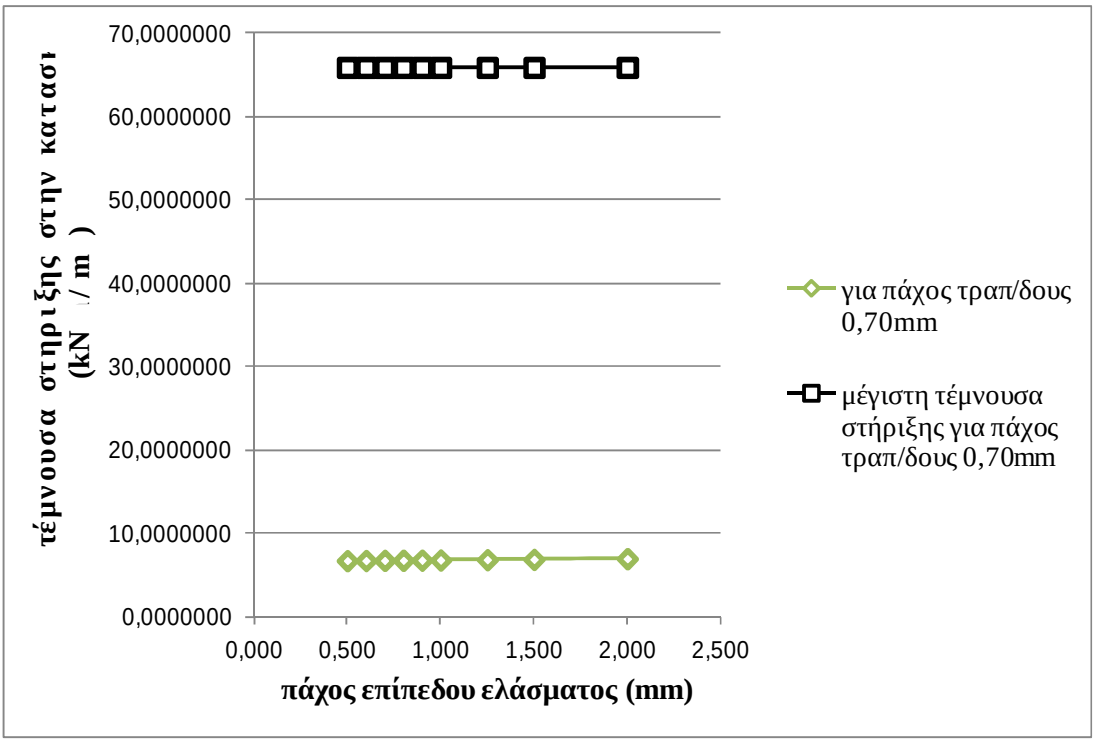
### 4.2.3 Έλεγχος ροπής ανοίγματος και τέμνουσας στήριξης

Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται για πάχος τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου *0,70* mm η τιμή της ροπής ανοίγματος για κάθε ένα από τα πάχη του επίπεδου ελάσματος. Γίνετε αντιληπτό ότι για κάθε πάχος επίπεδου ελάσματος υπάρχει διαφορετική τιμή ροπής ανοίγματος. Για να γίνει η επαλήθευση των τιμών που επιλέχθηκαν παραπάνω αρκεί το σημείο στο σχήμα για πάχος επίπεδου *1,50* mm να κατάντη της μέγιστης τιμής, κάτι το οποίο και φαίνεται χαρακτηρίστηκα στο σχήμα 4.6.

Για τον έλεγχο της τέμνουσας στήριξης θα χρησιμοποιηθεί το σχήμα 4.7, το οποίο και δίνει την αντίστοιχη μέγιστη τέμνουσα. Παρατηρώντας το σχήμα για πάχος επίπεδου ελάσματος *1,50* mm υπάρχει επαλήθευση.




Σχήμα 4.6: Καμπύλη ροπής ανοίγματος της κατασκευής για πάχος τραπεζοειδούς 0,70mm για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .




Σχήμα 4.7: Καμπύλη τέμνουσας στήριξης της κατασκευής για πάχος τραπεζοειδούς 0,70mm για τα διάφορα πάχη του επίπεδου ελάσματος .

## 4.3 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι τα πάχη των μεταλλικών στοιχείων, (πάχος τραπεζοειδούς *0,70* mm και πάχος επίπεδου ελάσματος *1,50* mm) που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της κατασκευής του πατώματος, αποτελούν τις ελάχιστες δυνατές τιμές.

# 5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον σχεδιασμό των πανέλων δαπέδου, που πραγματοποιήθηκε στα παραπάνω κεφάλαια.

Αρχικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το σημαντικότερο κίνητρο που οδήγησε και στην δημιουργία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ικανοποιείται σε πολύ μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητα του λόγου για τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί το δάπεδο (μόνιμη ή προσωρινή κατασκευή). Το κίνητρο αυτό, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας, είναι η δημιουργία πανέλων πατώματος με μικρό βάρος και διάρκεια συναρμολόγησης. Όσον αφορά το ίδιο βάρος της, προκύπτει ότι το δάπεδο (τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο, επίπεδη λαμαρίνα και ρητίνες) ζυγίζει περί τα *0,19 kN/m*$^2$ ή *19,53 kg/m*$^2$ . Επομένως μία λωρίδα πανέλου, όπως αυτή για την οποία έγινε σχεδιασμός (διαστάσεων *1,00m*3,00m*), ζυγίζει *58,59 kg*. Η τιμή αυτή δείχνει ότι η λωρίδα του δαπέδου μπορεί να μεταφερθεί, με ευκολία από δύο άτομα. Η κατασκευή (διαστάσεων *5,376m*3,00m)*, χωρίς τους κοιλοδοκούς φτάνει σε ιδίο βάρος περί τα *350,00 kg*. Έχοντας στα υπόψη το ίδιο βάρος τυπικών δαπέδων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή σύμμικτων δαπέδων, γίνεται αντιληπτή η μείωση σε βάρος που επιτεύχθηκε. Η μείωση, αυτή του βάρους, δεν σημαίνει και μειωμένη επάρκεια στην ανάληψη μονίμων και ωφέλιμων φορτίσεων. Αυτό συμβαίνει γιατί ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με βάση τα αντίστοιχα κεφάλαια του Ευρωκώδικα και όπως φαίνεται στα παραπάνω κεφάλαια όλοι οι περιορισμοί ικανοποιούνται πλήρως.

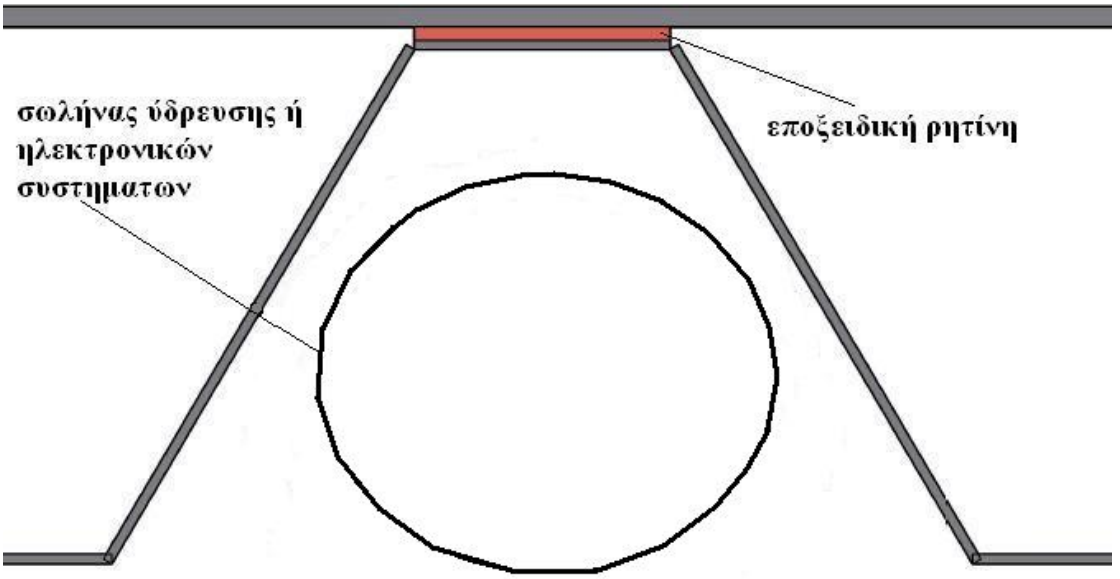
Επιπλέον, ο χρόνος κατασκευής, στοιχείο το οποίο είναι πολύ σημαντικό σε όλες τις κατασκευές, είναι πολύ σύντομος. Ανάλογα με τις συνολικές διαστάσεις του δαπέδου, οι εργασίες μπορούν να ολοκληρωθούν και εντός μίας ημέρας. Τα υλικά κατασκευής είναι απλά και μπορούν να βρεθούν στο εμπόριο και να μεταφερθούν στον τόπο κατασκευής με συμβατικά φορτηγά, χωρίς την χρήση γερανών. Η συναρμολόγηση πραγματοποιείται επιτόπου στο εργοτάξιο, έτσι δεν εμφανίζεται καθυστέρηση με διεργασίες στο εργοστάσιο. Η ευκολία της συναρμολόγησης είναι φανερή, αφού τα υπό μελέτη πανέλα δαπέδου, αποτελούνται από τρία υλικά (τραπεζοειδής λαμαρίνα, επίπεδη λαμαρίνα, ρητίνες). Αφού προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία των επιφανειών, σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της προστασίας (κεφάλαιο 1.3.6), η διαδικασία συναρμολόγησης μπορεί να ξεκινήσει. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι από την στιγμή που θα συναρμολογηθεί το δάπεδο απαιτούνται μονάχα μερικές ώρες ώστε να στεγνώσει η ρητίνη και να είναι έτοιμο για την πλήρη χρησιμοποίησή του. Ανάλογα με το πάχος της ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί, το οποίο θα φτάνει περίπου τα *6 mm*, εξαρτάται και το χρονικό διάστημα μέχρις ότου να στεγνώσει. Από τα παραπάνω συμπεράσματα γίνονται κατανοητοί οι λόγοι για τους οποίους ο χρόνος συναρμολόγησης είναι πολύ μικρός.

Απόρροια του μικρού χρόνου κατασκευής είναι και το χαμηλό εργατικό κόστος. Σε πολλά έργα μηχανικού η εξειδίκευση η οποία απαιτεί η κατασκευή του έργου έχει σαν αποτέλεσμα την χρησιμοποίηση καταρτισμένου προσωπικού, το οποία σε συνδυασμό με την χρονική διάρκεια συναρμολόγησης εκτοξεύει το κόστος των εργατικών. Στα υπό μελέτη πανέλα δαπέδου τα στοιχεία ενώνονται με ευκολία και δεν απαιτείται μεγάλη εξειδίκευση στο προσωπικό. Επίσης τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν είναι απλά και εύκολα στον χειρισμό. Επομένως οι εργατοώρες και το κόστος αυτών είναι αρκετά μικρό.

Τα μεταλλικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν έχουν απλή γεωμετρία και υπάρχουν στο εμπόριο στις διαστάσεις που έγινε ο σχεδιασμός. Οι διαστάσεις των στοιχείων, επίσης,

μπορούν κοπούν κατά παραγγελία στα αντίστοιχα εργοστάσια κοπής μεταλλικών λαμαρινών. Επιπλέον, όσον αφορά την ρητίνη, θα χρησιμοποιηθεί τυπική του εμπορίου που να παρουσιάζει καλή συμπεριφορά κατά την σύνδεση μεταλλικών στοιχείων. Το κόστος αγοράς των μεταλλικών στοιχείων ανέρχεται περί τα *0,78 €/kg* ενώ για την ρητίνη εξαρτάται από πια θα χρησιμοποιηθεί, με κόστος περί τα *25,00 €* το δοχείο ποσότητας 1kg.

Επιπροσθέτως, εξαιτίας της γεωμετρίας της κατασκευής δημιουργούνται εσοχές οι οποίες μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμες στην τοποθέτηση ηλεκτρολογικών καλωδίων ή σωλήνων ύδρευσης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.1 μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο τα καλώδια χωρίς να φαίνονται. Οι σωλήνες αυτές μπορούν να φτάσουν σε εξωτερική διάμετρο τα *40,00mm* χωρίς να δημιουργούνται επαφές με τα τοιχώματα του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου ή με το άνω πέλμα των κοιλοδοκών.




Σχήμα 5.1: Χρήση εγκοπής τραπεζοειδούς χαλυβδοφύλλου για διέλευση καλωδίων .

Επιπλέον, η επιφάνεια πάνω στην οποία θα κινούνται οι άνθρωποι είναι λεία (χωρίς εξογκώματα) αφού θα τοποθετηθεί ρητίνη και όχι κοχλίες ή άλλου τύπου κοχλίες. Επειδή τα μέλη είναι μεταλλικά ενδεχομένως να δημιουργείται κάποιος ενοχλητικός θόρυβος κατά την κίνηση πάνω στο δάπεδο. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς χρησιμοποιώντας κάποια μοκέτα του εμπορίου.

Κατά την συναρμολόγηση του δαπέδου στο εργοτάξιο δεν παρουσιάζεται κανένα ίχνος μόλυνσης του περιβάλλοντος, είτε αυτή είναι σκόνη είτε είναι ηχορύπανση. Η μόνη ρύπανση που δημιουργείται από αυτό το δάπεδο είναι μονάχα κατά την μεταφορά του στο εργοτάξιο. Η περίπτωση πυρκαγιάς μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με την τοποθέτηση κεντρικού συστήματος πυρόσβεσης, είτε με την χρήση τυπικών πυροσβεστήρων.

Τέλος, το δάπεδο αυτό μπορεί να αποσυναρμολογηθεί αρκετά εύκολα χωρίς να υποστεί φθορές που θα καταστήσουν δύσκολη την επαναχρησιμοποίηση του. Το είδος του δαπέδου που μελετήθηκε αφορά κυρίως προσωρινές κατασκευές επομένως είναι

σημαντικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, για λόγους οικονομικής φύσεως κυρίως..

Ελπίζουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν να είναι χρήσιμα και στους επόμενους μελετητές που θα ασχοληθούν με αυτό το είδος των πανέλων δαπέδου. Ως επόμενο στάδιο της διπλωματικής αυτής θα μπορούσε να είναι η δημιουργία του δαπέδου και ο έλεγχος του στο εργαστήριο ώστε να αποδειχτεί ότι οι υπολογισμοί με το πείραμα δεν αποκλίνουν, καθώς και η μελέτη με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

# 6 Βιβλιογραφία


1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2008). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Γεώργιος Θ. Μιχάλτσος (2009). «Ελαφρές μεταλλικές κατασκευές θεωρία και εφαρμογές», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
3. Ιωάννης Κ. Βαγιάς (2010). «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 3η έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Ερμόπουλος Χ. Ιωάννης (2000). "Στοιχεία σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών". Εκδόσεις ΕΜΠ.
5. Γεωργίου Θ. Μιχάλτσου (2008). "Ελαφρές μεταλλικές κατασκευές μέθοδοι υπολογισμού, 2η έκδοση". Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
6. Ιωάννης Κ. Βάγιας (2009). "Σιδηρές Κατασκευές ανάλυση και διαστασιολόγηση". Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
7. Ιωάννης Χ. Ερμόπουλος (2008). "Ευρωκώδικας 1 βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών, ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής, 2η έκδοση". Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
8. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2008). "Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, 2η έκδοση". Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
9. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2008). "Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, με βάση τα τελικά κείμενα των Ευρωκωδίκων". Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
10. Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α. (2006). "Σύμμικτες γέφυρες, Τόμος Ι". Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
11. Γεωργοπούλου Α., Κυριακοπούλου Γ. (2006). "Χρήση ρητινών ως μέσα συνδέσεως στις μεταλλικές κατασκευές." Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, επιβλέπων Γ. Μιχάλτσος.
12. D. Pollock. (1993). "Physical properties of materials for engineers". CRS Press, London.
13. Βαρδουλάκης Ι. (1999). "Τεχνική μηχανική ΙΙ". Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
14. Eurocode 3. (2006). "Design of steel structures." Part 1-3. "General Cold formed thin gauge members and sheeting." http://Scribd.com/.
15. Eurocode 3. (2006). "Design of steel structures." Part 1-5. "General strength and stability of planar plated structures without transverse loading." http://Scribd.com/.